

# **Sonografie der mimischen Muskulatur bei Patienten mit zentraler Fazialisparese**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät

der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Vera Spoddeck

geboren am 25.07.1990 in Jena

### **Gutachter**

1. Prof. Dr. Orlando Guntinas-Lichius, Jena
2. Prof. Dr. Farsin Hamzei, Bad Klosterlausnitz
3. Prof. Dr. Peter Jecker, Bad Salzungen

**Tag der öffentlichen Verteidigung:** 05.März 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>8</b>
1.1 Grundlagen.....	8
1.1.1 Die mimische Muskulatur.....	9
1.1.2 Der Nervus facialis .....	12
1.1.3 Neuroanatomische Grundlagen.....	15
1.2 Zentrale Fazialisparese.....	20
1.2.1 Ätiologie .....	20
1.2.2 Klinisches Erscheinungsbild.....	24
1.2.3 Verlauf .....	25
1.3 Sonografie der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur.....	26
<b>2 Ziele der Arbeit.....</b>	<b>27</b>
<b>3 Methodik .....</b>	<b>29</b>
3.1 Pilotphase.....	29
3.2 Patienten.....	29
3.3 Positionierung des Ultraschallkopfes .....	30
3.4 Voreinstellung des Ultraschallgerätes - Preset.....	31
3.5 Auswahl der Gesichtsmuskulatur.....	31
3.6 Untersuchungsablauf.....	32
3.7 Auswertungssoftware Sante DICOM Editor 3D .....	37
3.8 Segmentierung .....	39
3.8.1 Helligkeits- und Kontrasteinstellung .....	39
3.8.2 Quantifizierung der Muskelgrößen .....	40
3.9 Statistik .....	43
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>45</b>
4.1 Patientencharakteristika .....	45
4.2 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der mimischen Muskulatur.....	46
4.2.1 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite in Ruhe.....	46
4.2.2 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite in Kontraktion .....	47
4.2.3 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite in Ruhe.....	48
4.2.4 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite in Kontraktion .....	49
4.2.5 Geschlechtsspezifische Muskeldynamik der kontralateralen Gesichtsseite.....	50
4.2.6 Geschlechtsspezifische Muskeldynamik der paretischen Gesichtsseite .....	52
4.3 Größenunterschiede in Ruhe und Kontraktion.....	53
4.4 Größenunterschiede zwischen paretischer und kontralateraler Gesichtsseite .....	54

4.5 Vergleich der Muskelgrößen mit Referenzwerten .....	55
4.5.1 Vergleich der Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite mit Referenzwerten .....	56
4.5.2 Vergleich der Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite mit Referenzwerten .....	58
4.6 Korrelation der Muskelgrößen mit den Patientencharakteristika .....	61
4.6.1 Korrelation der Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite mit den Patientencharakteristika .....	62
4.6.2 Korrelation der Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite mit den Patientencharakteristika .....	64
4.6.3 Korrelation der Muskeldynamik mit den Patientencharakteristika .....	66
4.7 Vergleich der Muskelgrößen zwischen erster und zweiter Sonografie .....	70
4.8 Korrelation der Größenänderung der Gesichtsmuskulatur im Verlauf mit Patientencharakteristika am Beispiel des M. zygomaticus major .....	75
<b>5 Diskussion .....</b>	<b>76</b>
5.1 Charakteristika des Patientenkollektivs .....	76
5.2 Merkmale der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur .....	77
5.3 Sonografie und Quantifizierung der Gesichtsmuskulatur .....	78
5.4 Geschlechtsspezifische Referenzbereiche .....	80
5.5 Muskeldynamik .....	81
5.6 Vergleich der paretischen und kontralateralen Gesichtsseite .....	83
5.7 Vergleich der Muskelgrößen mit Referenzwerten .....	85
5.8 Korrelation der Muskelgrößen mit ausgewählten Patientencharakteristika .....	86
5.9 Muskelgröße im Verlauf .....	89
<b>6 Schlussfolgerungen .....</b>	<b>93</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>95</b>
<b>8 Anhang .....</b>	<b>104</b>
8.1 Danksagung .....	104
8.2 Ehrenwörtliche Erklärung .....	105

## **Abkürzungsverzeichnis**

Art.	Arteria
BMI	Body-Mass-Index
CT	Computertomografie
FaCE	Facial Clinimetric Evaluation Skala
FDI	Facial Disability Index
Gl.	Glandula
LPMCv	Ventral lateraler Prä-motorischer Kortex
M.	Musculus
M1	Primär-motorischer Kortex
M2	Supplementär-motorische Region der medialen Wand
M3	rostrale Anteile des Gyrus cinguli
M4	kaudale Anteile des Gyrus cinguli
Mm.	Musculi
MRT	Magnetresonanztomografie
MS	Multiple Sklerose
N.	Nervus
Ncl.	Nucleus
Nn.	Nervi
Proc.	Processus
R.	Ramus
ROI	Region of Interest
Rr.	Rami
SPSS	Statistical Package of the Social Sciences
TGC	Time Gain Compensation

## **Zusammenfassung**

Die Sonografie ist eine bewährte diagnostische Methode zur schnellen und nebenwirkungsfreien Untersuchung anatomischer Strukturen. Besonders in den letzten Jahren konnte der Anwendungsbereich der Sonografie auch auf die Darstellung der mimischen Muskulatur ausgeweitet werden. Durch das Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena wurden geeignete mimische Muskeln identifiziert und die reliable Darstellbarkeit dieser nachgewiesen (Sauer 2014). Bisherige Studien beschränkten sich dabei auf die Untersuchung von gesunden Probanden und Patienten mit peripherer Fazialisparese. In diesem Rahmen hat die Sonografie als hilfreiches diagnostisches Instrument zur frühen Beurteilung einer mimischen Funktionseinschränkung sowie zur Verlaufsbeobachtung an Bedeutung gewonnen (Volk et al. 2016, Volk et al. 2014b, Volk et al. 2014a, Volk et al. 2013). Während die Atrophie der mimischen Muskulatur bei Patienten mit peripherer Fazialisparese bereits erfolgreich mittels Sonografie dokumentiert werden konnte, ist zum jetzigen Zeitpunkt keine Studie bekannt, die die Auswirkungen einer zentralen Fazialisparese auf diese Weise untersucht hat. Beide Formen der Fazialisparese unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich ihrer Ätiologie und des daraus resultierenden klinischen Erscheinungsbildes, sondern ebenfalls im Verlauf der Erkrankung und der Therapiemöglichkeiten. Aus diesem Grund widmet sich die vorliegende Arbeit der erstmaligen sonografischen Beurteilung des Einflusses einer zentralen Fazialisparese auf die mimische Muskulatur.

Im Vordergrund stand die Erfassung der Muskelgröße der paretischen und kontralateralen Gesichtsseite, sowohl im Ruhezustand als auch in Kontraktion. Somit konnten der Grad der Atrophie sowie die Muskeldynamik ermittelt werden. Ein zweiter Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf der Untersuchung der Muskelgröße im Verlauf der Rehabilitation. Darüber hinaus wurde der Zusammenhang zwischen ausgewählten Patientencharakteristika (Alter, Körpergröße, Körpergewicht, Body-Mass-Index und Paresedauer) und der Muskelgröße beurteilt. Um diesen Fragestellungen nachzugehen, wurden in der Moritz Klinik Bad Klosterlausnitz, einer Rehabilitationsfachklinik, die Daten von 54 Schlaganfall-Patienten mit zentraler Fazialisparese erhoben. Anhand strenger Ausschlusskriterien sollte sichergestellt werden, dass lediglich Patienten mit einseitigem, streng einseitigem und nicht mehrere Territorien betreffendem Schlaganfall in die Studie eingeschlossen wurden. Die Sonografie folgte einem festgelegten Untersuchungsprotokoll und umfasste die durch den Nervus (N.) facialis innervierten Muskel Musculus (M.) mentalis, M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris, M. zygomaticus major, M. orbicularis oris, M. frontalis und M. orbicularis oculi. Neben diesen mimischen Muskeln wurden zwei weitere, durch den N. trigeminus innervierte

Kaumuskeln, der M. temporalis und der M. masseter, in das Untersuchungsprotokoll als Kontrollmuskeln aufgenommen. Die Sonografie wurde zu einem möglichst frühen Zeitpunkt nach Aufnahme in die Rehabilitationsfachklinik sowie vor Entlassung durchgeführt. Um im Anschluss eine möglichst genaue und reproduzierbare Auswertung zu gewährleisten, erfolgte die Muskelvermessung nach einem festen Ablauf.

Es zeigte sich, dass die zentrale Fazialisparese nicht nur eine Größenabnahme der betroffenen Muskulatur zur Folge hatte, sondern diese Muskelatrophie auch das klinische Erscheinungsbild der zentralen Fazialisparese, mit Betonung der unteren Gesichtshälfte, widerspiegelte. Von der Parese unbeeinflusst zeigte sich die nur bei einer peripheren Fazialisparese betroffene mimische Muskulatur der oberen Gesichtshälfte, sowie die Kaumuskulatur. Eine Ausnahme bildete der M. masseter, einer der beiden untersuchten Kaumuskeln im kontrahierten Zustand, mit einer Größenabnahme auf der paretischen Gesichtseite, was auf einen kompensatorischen Wechsel der bevorzugten Kauseite hinweist. Die Korrelationsanalyse der Muskelgröße mit ausgewählten Patientencharakteristika zeigte lediglich sehr geringe bis mittelstarke Zusammenhänge. Interessanterweise konnte im Verlauf der Rehabilitation trotz des kleinen Stichprobenkollektivs eine Größenzunahme der mimischen Muskulatur ausschließlich auf der paretischen Gesichtseite verzeichnet werden. Dies spricht zum einen für eine Erholung der paretischen Gesichtsmuskulatur und zum anderen dafür, dass keine kompensatorische Größenzunahme der Muskulatur der Gegenseite stattfand. Es stellt sich die Frage, ob die Verbesserung der Funktionseinschränkung der paretischen Muskulatur auf eine spontane Remission oder gezieltes Training zurückzuführen ist. Da sich die Literatur hinsichtlich dieser Fragestellung uneins ist, kann diese Gegenstand weiterführender sonografischer Untersuchungen der mimischen Muskulatur an Patienten mit zentraler Fazialisparese darstellen. Darüber hinaus hat sich die Sonografie im Hinblick auf die Verlaufsbeobachtung im Rahmen der Rehabilitation bewährt und könnte zur Beurteilung des Zusammenhangs der Muskelgröße und der Paresedauer zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten an einem größeren Patientenkollektiv zum Einsatz kommen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte somit erfolgreich der Einfluss der zentralen Fazialisparese auf die mimische Muskulatur nachgewiesen und der Grundstein für weiterführende Studien gelegt werden.

# **1 Einleitung**

Die zentrale Fazialisparese stellt eine der häufigsten Störungen bei Patienten nach Schlaganfall dar. Sie tritt nicht nur durch eine auffallende Asymmetrie des Gesichts in Erscheinung, sondern beeinträchtigt darüber hinaus auch die Nahrungsaufnahme, die verbale und nonverbale Kommunikationsfähigkeit und damit verbunden die soziale Interaktion. Bereits 1872 verwies Charles Darwin auf die zentrale Funktion der Mimik als untrügliche Quelle der Vermittlung emotionaler Botschaften (Darwin 1872).

Klinisch präsentiert sich die zentrale Fazialisparese durch eine meist unilaterale Schwäche und Asymmetrie der mimischen Muskulatur der kontralateralen unteren Gesichtshälfte, bei Aussparung der Augen- und Stirnmuskulatur. Dies unterscheidet die zentrale von der peripheren Fazialisparese, welche aufgrund der direkten Schädigung des Nervus (N.) facialis oder des Nucleus nervi (Ncl. n.) facialis eine Beeinträchtigung der gesamten ipsilateralen Gesichtsmuskulatur zur Folge hat. Dem gegenüber ist die zentrale Fazialisparese auf eine supranukleäre zentrale Läsion zurückzuführen. Aus diesem Grund sollte bei Verdacht auf diese zwingend eine bildgebende Diagnostik (CT oder MRT) zum Ausschluss potentiell lebensbedrohlicher Ursachen durchgeführt werden. Der Grad der muskulären Funktionseinschränkung kann mittels der heute am häufigsten verwendeten „Facial nerve grading Skala 2.0“ (Fattah et al. 2015) und des „Sunnybrook facial nerve grading Systems“ (Ross et al. 1996), sowie der House-Brackmann-Skala (House und Brackmann 1985) oder des Stennert-Parese-Index (Stennert et al. 1977) bewertet werden.

In den letzten Jahren konnte als neues Verfahren zur Bewertung der mimischen Funktion die Beurteilung der mimischen Muskulatur mittels Ultraschall durch die Entwicklung standardisierter Untersuchungsprotokolle und der Ermittlung geschlechts- und altersspezifischer Referenzwerte durch das Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena etabliert werden (Volk et al. 2014a, Volk et al. 2014b, Volk et al. 2013, Sauer 2014). Diese Untersuchungen beschränkten sich jedoch bisher auf das Krankheitsbild der peripheren Fazialisparese. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll nun erstmals die Auswirkung einer zentralen Fazialisparese auf die mimische Muskulatur bei Patienten nach Schlaganfall mittels Ultraschall untersucht werden.

## **1.1 Grundlagen**

Zum besseren Verständnis der Auswirkungen einer zentraler Fazialisparese auf die Mimik betroffener Patienten soll im Folgenden zunächst auf den N. facialis, die mimische Muskulatur sowie die für diese Arbeit relevanten neuroanatomischen Grundlagen eingegangen werden.



### **1.1.1 Die mimische Muskulatur**

Die Wichtigkeit des menschlichen Gesichtsausdruckes wurde bereits in der antiken Kunst und Philosophie reflektiert. So bezeichnete Cicero die Mimik mit den Worten: „Imago animi vultus“ (Cicero, de Oratore), „Das Gesicht ist ein Abbild der Seele“. Gewährleistet wird diese individuelle Mimik eines jeden Menschen durch das differenzierte Zusammenspiel der mimischen Muskulatur. Diese besteht aus insgesamt 23 Muskeln (International Anatomical Nomenclature Committee und International Congress of Anatomists 1989). Nicht alle dieser mimischen Muskeln sind jedoch bei jedem Menschen in gleicher Weise ausgeprägt. Vielmehr unterscheidet sich das Vorhandensein, die Größe und Symmetrie eines Großteils der Muskeln stark von Person zu Person (Waller et al. 2008). Diese anatomische Varianz ist möglicherweise auf komplexe interindividuelle Unterschiede in der Größe des Gesichts und der Gesichtsform zurückzuführen (Lapatki et al. 2006). Konstant, symmetrisch und mit lediglich minimalen Größenunterschieden sind hingegen jene Muskeln angelegt, die essentiell für die Steuerung der menschlichen Basisemotionen (Freude, Traurigkeit, Angst, Wut, Überraschung und Ekel) verantwortlich sind. Zu diesen Muskeln gehört der M. frontalis, M. orbicularis oculi, M. zygomaticus major, M. depressor anguli oris und der M. orbicularis oris (Waller et al. 2008). Gemeinsam tragen sie nicht nur zur nonverbalen Kommunikation bei, sondern stellen auch die Voraussetzung für wichtige Schutzreflexe wie den Lidschluss, sowie die Nahrungsaufnahme, das Trinken und die soziale Interaktion dar (MacDonald und McGurk 1976). Die Existenz von sowohl variabel als auch konstant angelegter mimischer Muskulatur erklärt zugleich die individuelle Varianz als auch die Universalität von Gesichtsausdrücken.

Embryologisch geht die mimische Muskulatur aus dem zweiten Pharyngealbogen hervor und wandert in ihrer Entwicklung, ausgehend vom Zungenbein, flächig über den Kopf (Frühwald et al. 1988). Die sehr dünnen mimischen Muskeln bestehen aus parallel verlaufenden Muskelfasern und sind in vier Schichten angeordnet (Freilinger et al. 1987). Im Gegensatz zur Skelettmuskulatur verfügt sie, mit Ausnahme des M. buccinator, nicht über eine Muskelfaszie, sodass einzelne Muskeln oft ineinander übergehen und auch in der Bildgebung nur schwer voneinander abgrenzbar sind (Hutto und Vattoth 2015). Ausgehend vom Knochen inserieren die mimischen Muskeln über das superfizielle muskulo-aponeurotische System (SMAS) direkt an der Dermis (Ghassemi et al. 2003).

Funktionell lässt sich die mimische Muskulatur laut Freilinger et al. anhand ihres Anteils an Slow-Twitch (langsam zuckende) Typ I-Fasern und Fast-Twitch (schnell zuckende) Typ II-Fasern in drei Gruppen einteilen: phasische Muskeln mit 14 bis 15 % Typ I-Fasern (z.B. M. orbicularis oculi), intermediäre Muskeln mit 28 bis 37 % Typ I-Fasern (Platysma, M.

## Einleitung

zygomaticus major, M. mentalis, M. orbicularis oris, M. depressor anguli oris) und tonische Muskeln mit 41 bis 67 % Typ I-Fasern (M. depressor labii inferioris, M. occipitofrontalis) (Freilinger et al. 1990). Meist werden neuronal nicht die gesamten Muskeln, sondern funktionelle Untereinheiten angesteuert (Abbs et al. 1984). Verantwortlich für die Innervation der mimischen Muskulatur ist der N. facialis. Dieser verzweigt sich zunächst mindestens viermal untereinander und ebenso mit anderen kranialen Nerven bevor er die jeweiligen Muskeln erreicht (Freilinger et al. 1987, Diamond et al. 2011). Jeder Muskel wird dabei nicht nur von einer, sondern von multiplen intramuskulären Nervenfasern innerviert (Abbs et al. 1984). Aufgrund dieses hochdifferenzierten Systems aus Muskel-Nerven-Verbindungen, dem Fehlen einer Muskelfaszie und der Innervation durch multiple, variabel angeordnete motorische Endplatten, nimmt die mimische Muskulatur eine Sonderstellung unter allen anderen im Körper vorkommenden Muskeln ein (Happak et al. 1994). In Tab. 1.1 sind Ursprung, Ansatz, Innervation, Blutversorgung und die wichtigsten Funktionen der mimischen Muskulatur ausführlich aufgelistet.

**Tab. 1.1: Übersicht über die mimische Muskulatur.**  
Nach (Zilles und Tillmann 2010).

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>Muskeln des Schädeldaches</b>			
<b>M. epicranius</b>			
<b>M. occipitofrontalis</b> ▪ Venter frontalis	<b>Ursprung</b> über den Sehnen benachbarter Muskeln im Bereich der pars nasalis des Os frontale <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. supraorbitalis ▪ A. supratrochlearis ▪ A. lacrimalis ▪ R. frontalis der A. temporalis superficialis	Verschieben der Kopfhaut  Anheben der Augenbrauen und der Stirnhaut
▪ Venter occipitalis (M. occipitalis)	<b>Ursprung</b> Linea nuchalis suprema <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> ▪ R. occipitalis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. occipitalis	
<b>M. temporoparietalis</b>	<b>Ursprung</b> Fascia temporalis <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. temporalis superficialis	keine nennenswerte Funktion
<b>Muskeln im Bereich der Augenhöhle und der Lidspalte</b>			
<b>M. orbicularis oculi</b> ▪ Pars orbitalis	<b>Ursprung</b> Crista lacrimalis und Proc. frontalis der Maxilla <b>Ansatz</b> über der Raphe palpebralis lateralis am Os zygomaticum	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporales ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. facialis ▪ R. frontalis der A. temporalis superficialis	Fester Schluss der Lidspalte
▪ Pars palpebralis	<b>Ursprung</b> Lig. palpebrale mediale <b>Ansatz</b> Lig. palpebrale laterale	▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. supraorbitalis, A. lacrimalis und A. supratrochlearis der A. ophthalmica	Verschluss der Lidspalte, Beteiligung am Lidschlag und Stabilisierung des Unterlides zur Bildung des Tränensees
▪ Pars lacrimalis (Horner-Muskel)	<b>Ursprung</b> Crista lacrimalis des Os lacrimale <b>Ansatz</b> Canaliculi lacrimales in die Pars palpebralis		Förderung des Tränenflusses, Abfluss der Tränenflüssigkeit
<b>M. corrugator supercilii</b>	<b>Ursprung</b> Os frontale oberhalb der Sutura frontomaxillaris, Glabella, Arcus superciliaris <b>Ansatz</b> Haut oberhalb des mittleren Drittels der Augenbraue, Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. supraorbitalis und A. supratrochlearis der A. ophthalmica ▪ R. frontalis der A. temporalis superficialis	Verschieben der Augenbrauenhaut nach unten medial

## Einleitung

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>M. depressor supercili</b>	<b>Ursprung</b> Os frontale <b>Ansatz</b> medialer Teil der Augenbraue	<b>Innervation</b> ▪ R. temporalis des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ Aa. supratrochleares und supraorbitales der A. ophthalmica	Verschiebung der Haut über der Nasenwurzel zu einer Querfalte
<b>Muskeln im Bereich der Nase</b>			
<b>M. procerus</b>	<b>Ursprung</b> Os nasale, Cartilago nasi lateralis <b>Ansatz</b> Haut der Glabella	<b>Innervation</b> ▪ R. zygomaticus des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. dorsalis nasi, A. supratrochlearis und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica	Verschiebung der Haut über der Glabella nach unten und Bildung einer Querfalte über der Nasenwurzel
<b>M. nasalis</b> ▪ Pars transversa	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des Eckzahnes bis in die Fossa canina der Maxilla <b>Ansatz</b> Aponeurose über dem Nasenrücken	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. angularis der A. facialis	Ziehen des Nasenflügels und der Nasenspitze nach unten, leichte Erweiterung des Nasenloches, Vertiefung der Nasenflügelrinne
▪ Pars alaris	<b>Ursprung</b> oberhalb des Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes <b>Ansatz</b> Haut der Nasenöffnung und des Nasenseptums	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. dorsalis nasi und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica	
<b>M. depressor septi nasi</b>	<b>Ursprung</b> oberhalb des Proc. alveolaris des ersten Schneidezahnes <b>Ansatz</b> knorpeliger Teil des Nasenseptums	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici und buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis superior der A. facialis	Herabziehen der Nasenspitze und Erweiterung der Nasenlöcher
<b>M. levator labii superioris alaeque nasi</b>	<b>Ursprung</b> Proc. frontalis der Maxilla, Margo infraorbitalis <b>Ansatz</b> Oberlippe, Haut der Nasenflügel	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben von Nasenflügel und Oberlippe, Erweiterung der Nasenöffnung
<b>Muskeln im Bereich des Mundes</b>			
<b>M. orbicularis oris</b>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des oberen und des unteren Eckzahnes <b>Ansatz</b> Haut der Ober- und Unterlippe	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis im Bereich der Oberlippe ▪ Rr. buccales des N. facialis im Bereich des Mundwinkels ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis im Bereich der Unterlippe <b>Blutversorgung</b> ▪ Aa. labiales superior und inferior der A. facialis	<b>Gesamter Muskel:</b> Verengen und Schließen der Mundöffnung, Erzeugen der Lippenspannung <b>Alleinige Kontraktion der Pars marginalis:</b> Einziehen des Lippenrotanteils nach innen <b>Alleinige Kontraktion des Pars labialis:</b> Vorwölben der Lippen
<b>M. buccinator</b>	<b>Ursprung</b> Proc. alveolaris maxillae im Bereich der Molaren, Crista buccinatoria im Bereich der Unterkiefermolaren <b>Ansatz</b> Modiolus anguli oris, über dem M. orbicularis oris in der Ober- und Unterlippe	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis und der A. temporalis superficialis ▪ A. buccalis und A. alveolaris superior posterior der A. maxillaris	Beteiligung am Kauakt, indem er die Speise aus dem Mundvorhof zwischen die Zahnreihen und in die Mundhöhle schiebt. Erzeugung der Wangen- und Lippenspannung.
<b>M. zygomaticus major</b>	<b>Ursprung</b> Os zygomaticum vor der Sutura zygomaticotemporalis <b>Ansatz</b> Haut des Mundwinkels und der Oberlippe	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis ▪ Äste der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben, Vertiefung der Nasolabialrinne und der Lidrinne
<b>M. zygomaticus minor</b>	<b>Ursprung</b> Os zygomaticum medial vom M. zygomaticus major <b>Ansatz</b> Haut des Sulcus nasolabialis	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis ▪ Äste der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben
<b>M. risorius</b>	<b>Ursprung</b> Fascia masseterica <b>Ansatz</b> Haut der Oberlippe, Schleimhaut des Vestibulum oris, Modiolus anguli oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach lateral, Vertiefung der Nasolabialrinne, Erzeugung des Wangengrübchens
<b>M. levator labii superioris</b>	<b>Ursprung</b> Margo infraorbitalis der Maxilla oberhalb des Foramen infraorbitale <b>Ansatz</b> Haut der Oberlippe und des Nasenflügels, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben der Oberlippe, Erzeugung einer Falte oberhalb und seitlich der Nasenflügel
<b>M. levator anguli oris (M. caninus)</b>	<b>Ursprung</b> Fossa canina unterhalb des Foramen infraorbitale <b>Ansatz</b> Haut und Schleimhaut des Mundwinkelbereiches, Modiolus anguli oris, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ Äste der A. angularis und A. labialis superior der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach kranial-medial

## Einleitung

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>M. depressor anguli oris</b> (M. triangularis)	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae vom Tuberculum mentale bis zum Jugum alveolare des ersten Molaren <b>Ansatz</b> Haut des Mundwinkels, Modiolus anguli oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis ▪ variabel: R. marginalis mandibulae <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach unten
<b>M. depressor labii inferioris</b> (M. quadratus inferioris)	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae unterhalb des Foramen mentale (Verbindung zum Platysma) <b>Ansatz</b> Haut und Schleimhaut der Unterlippe, Haut des Kinnwulstes, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug der Unterlippe nach unten-lateral, Vorwölbung des Lippenrotes
<b>M. mentalis</b>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes der Mandibula <b>Ansatz</b> Haut des Kinns	<b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Verschieben der Haut des Kinns nach oben
<b>Muskeln im Bereich des äußeren Ohres</b>			
<b>M. auricularis anterior</b>	<b>Ursprung</b> Fascia temporalis, Galea aponeurotica <b>Ansatz</b> Spina helices der Ohrmuschel	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. temporalis superficialis	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach vorn
<b>M. auricularis superior</b>	<b>Ursprung</b> Galea aponeurotica <b>Ansatz</b> Hinterfläche der Ohrmuschel im Bereich der Eminentia scaphae und der Eminentia fossae triangularis, Spina helices	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporalis und R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. temporalis superficialis ▪ A. auricularis posterior	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach oben
<b>M. auricularis posterior</b>	<b>Ursprung</b> Proc. mastoideus, Linea nuchalis superior <b>Ansatz</b> Eminentia conchae der Ohrmuschel	<b>Innervation</b> ▪ R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. auricularis posterior ▪ R. auricularis der A. occipitalis	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach hinten
<b>Muskeln des Halses</b>			
<b>Platysma</b>	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae <b>Ansatz</b> Haut der oberen Brustregion	<b>Innervation</b> ▪ R. colli des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ R. superficialis der A. transversa colli ▪ A. submentalis der A. facialis	<b>Gesichtsteil:</b> Herabziehen der Mundwinkel nach lateral <b>Halsteil:</b> Verschieben der Haut zur Mandibula Spannen von Haut und Unterhautgewebe

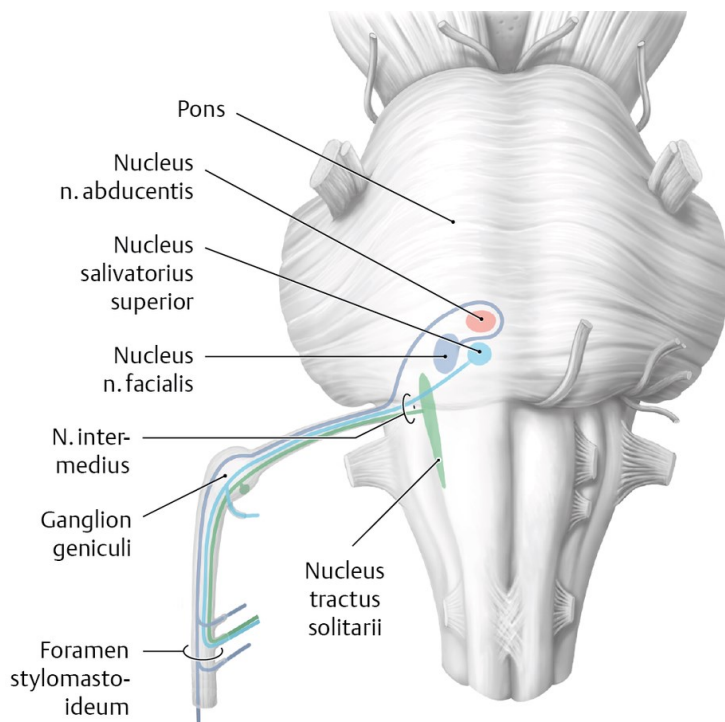
### 1.1.2 Der Nervus facialis

Der Nervus facialis (N. facialis) ist der siebente von zwölf paarig angelegten Hirnnerven. Embryologisch entwickelt er sich aus dem zweiten Pharyngealbogen und innerviert unter anderem die ebenfalls aus dem zweiten Pharyngealbogen entstehende mimische Muskulatur (Zilles und Tillmann 2010). Neben seiner motorischen Funktion verfügt der N. facialis über verschiedene weitere Faserqualitäten und leitet Afferenzen der Geschmacksfasern aus den vorderen zwei Dritteln der Zunge, sensible Fasern eines Hautareals hinter dem Ohr, der Concha, der Paukenhöhle und des Gehörganges, sowie parasympathische Fasern zur Versorgung der kleinen Kopfspeicheldrüsen und der Tränendrüse (Trepel 2011).

Der N. facialis zählt zu den komplexesten Nerven des menschlichen Körpers (Valls-Solé 2007). Erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts, nachdem bereits die Anatomie aller anderen Hirnnerven exakt erklärt werden konnte, wurde die motorische und sensorische Komponente des N. facialis erstmals beschrieben (Bell 1821, Bell 1830). Er besteht aus insgesamt rund 13.000 Neuronen, von welchen allein circa 7000 die motorische Innervation der mimischen Muskulatur gewährleisten (Van Buskirk 1945). Das Verschaltungsmuster und die Anzahl der motorischen Endplatten unterscheiden sich dabei deutlich von der Skelettmuskulatur. Im Gegensatz zu

## Einleitung

dieser, welche über lediglich eine zentral gelegene motorische Endplatte verfügt, besitzt die mimische Muskulatur multiple, über die Muskelfaser verteilte, neuromuskuläre Synapsen des N. facialis (Happak et al. 1997). Diese exakte strukturelle und funktionelle Organisation der anatomischen Strukturen ist Voraussetzung für die Ausdrucksfähigkeit und ästhetische Funktion der mimischen Muskulatur (Marur et al. 2014). Der komplexe Verlauf, die Abspaltung einzelner Nervenäste und die Innervation der mimischen Muskulatur soll im Folgenden zum besseren Verständnis von Ausfallerscheinungen bei Läsionen erläutert werden. Der N. facialis als motorischer Nerv führt durch die Anlagerung des Nervus intermedius ebenfalls sensorische, sensible und parasympathische Fasern (Finkensieper et al. 2012). Sein Verlauf ist äußerst komplex und kann in einen intrakraniellen, intratemporalen und einen extratemporalen Abschnitt gegliedert werden (Myckatyn und Mackinnon 2004). Das Kerngebiet des N. facialis befindet sich, wie in Abb. 1.1 dargestellt, im dorsokaudalen Pons, einem Bereich des Hirnstamms. Den Hauptkern bildet der Nucleus nervi facialis, von welchem speziell-viszeromotorische Axone nach dorsal um den Ncl. nervi abducentis ziehen und dann nach ventral verlaufen, um am Unterrand des Pons, dem Kleinhirnbrückenwinkel, auszutreten. Den speziell-viszeromotorischen Nervenzellen des Ncl. n. facialis lagert sich der N. intermedius an. Dieser enthält parasympathische Neurone des Ncl. salivatorius superior, speziell-viszerosensible Schmeckfasern des Ncl. tractus solitarii (Pars superior) sowie allgemein-somatosensible Fasern der Kerngruppe des N. trigeminus (Schünke et al. 2012).



**Abb. 1.1: Hirnstamm von ventral**  
Austritt des N. facialis aus dem  
kaudalen Pons. (Schünke et al. 2009)

## Einleitung

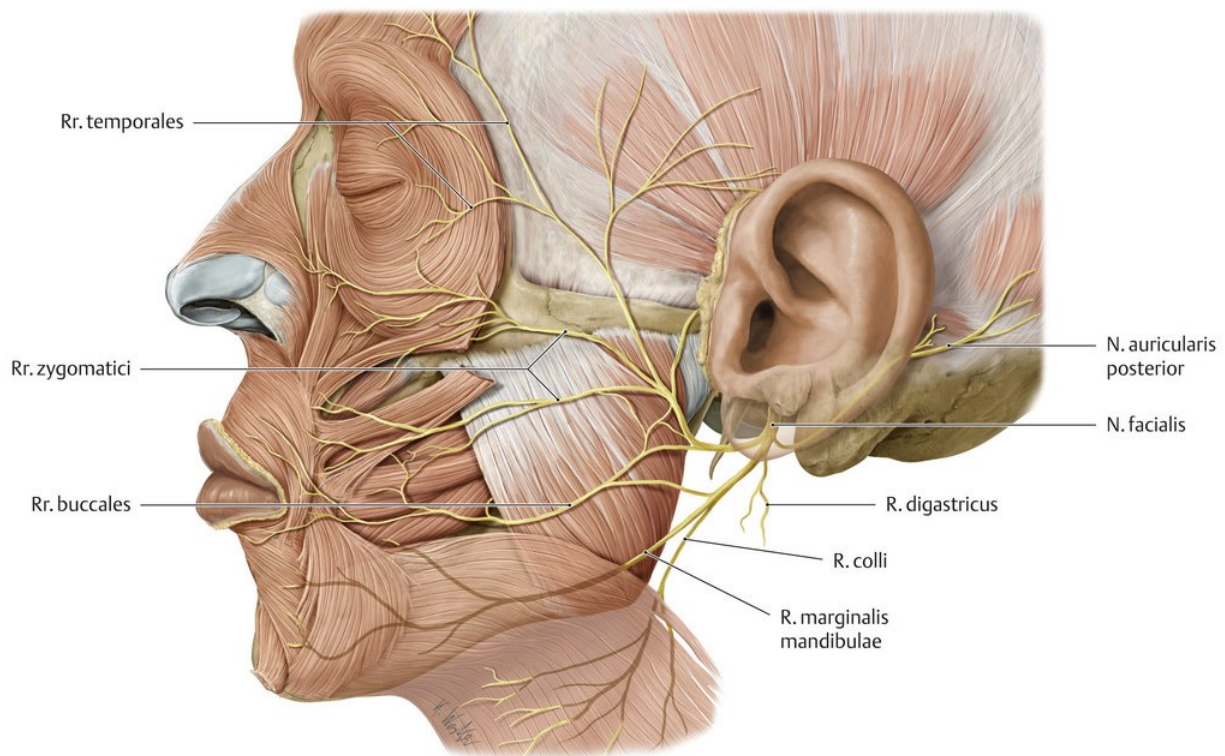
Nach Austritt aus dem Pons zieht der Nerv gemeinsam mit dem N. vestibulocochlearis, dem achten Hirnnerv, durch den Porus acusticus internus des Os temporale (Lang 1985) und weist mit 3 cm den längsten interossären Verlauf aller Hirnnerven auf (Mavrikakis 2008). Innerhalb des Canalis n. facialis des Felsenbeins gliedert sich der Verlauf des N. facialis in drei Teile: den labyrinthischen, in welchem der N. facialis und der N. intermedius in das Ganglion (Ggl.) geniculi münden, den tympanischen und den mastoidalen Abschnitt (Malin 1995). Direkt am Ggl. geniculi zweigen parasymphatische Fasern als N. petrosus major zur Innervation der Gesichtsdrüsen ab (Wolf 1988). Dieser zieht durch den Hiatus canalis n. petrosus majoris aus dem Felsenbein, um im Ggl. pterygopalatinum auf postganglionäre Fasern umgeschaltet zu werden und im Folgenden die Glandulae (Gll.) lacrimalis und nasales zu versorgen. Weiterhin gibt der N. facialis innerhalb des Felsenbeins den N. stapedius für die motorische Innervation des gleichnamigen Muskels ab. Oberhalb des Foramen stylomastoideum, vor Austritt aus dem Felsenbein, entspringt die Chorda tympani, welche nach Anlagerung an den N. lingualis sekretorische Fasern an die Gll. submandibularis, sublingualis und linguales anteriores abgibt sowie die Afferenzen aus den Geschmacksknospen der vorderen zwei Drittel der Zunge führt. Bevor sich der N. facialis innerhalb der Glandula (Gl.) parotis in seine fünf motorischen Endäste aufspaltet, wie in Abb. 1.2 dargestellt, gibt er zunächst den N. auricularis posterior mit dem Ramus auricularis zur Innervation der Mm. auriculares sowie den Venter occipitalis des M. occipitofrontalis ab. Außerdem zweigen zwei weitere Äste zur motorischen Innervation des Venters posterior des M. digastricus sowie des M. stylohyoideus ab (Toulgoat et al. 2013). Der Hauptstamm des N. facialis bildet in der Gl. parotis den Plexus intraparotideus (Burmeister et al. 2010). Aus ihm strahlen folgende Äste in die mimische Muskulatur: der Ramus (R.) temporalis, R. zygomaticus, R. buccalis, R. marginalis mandibulae sowie der R. coli (Standring 2015). Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass das Verzweigungsmuster des N. facialis sehr variabel ist (Baker und Conley 1979) und Verbindungen zwischen den einzelnen Nervenästen bestehen. Von allen Hirnnerven weist der N. facialis außerdem die größte Anzahl an Anastomosen zu anderen kranialen Nerven auf (Diamond et al. 2011).

Die komplexe Motorik der mimischen Muskulatur wird durch die fünf Endäste des N. facialis gewährleistet. Am superioren Rand der Gl. parotis verlässt zunächst der temporale Ast des N. facialis den Plexus intraparotideus und innerviert den Pars palpebralis des M. orbicularis oculi, den Venter frontalis des M. occipitofrontalis sowie den M. corrugator (Bentsianov und Blitzer 2004). Der inferiore Bereich des M. orbicularis oculi wird durch verschiedene Anteile der Rr. zygomatici und buccales innerviert. Die Rr. zygomatici versorgen darüber hinaus die Mm. zygomatici majores et minores und levator labii superioris alaeque nasi, die Rr. buccales



## Einleitung

innervieren daneben den M. orbicularis oris und den M. levator anguli oris. Weitere Muskeln der unteren Gesichtshälfte, wie der M. depressor anguli oris und der M. depressor labii inferioris werden durch den R. marginalis mandibulae des N. facialis innerviert. Den kleinsten Abgang der fünf motorischen Endäste des N. facialis bildet der R. colli, welcher am inferioren Rand der Gl. parotis austritt und das Platysma innerviert (Marur et al. 2014, Bisdas et al. 2009).



**Abb. 1.2: Aufspaltung der Endäste des N. facialis zur Innervation der mimischen Muskulatur**  
(Schünke et al. 2009)

### **1.1.3 Neuroanatomische Grundlagen**

Der Gesichtsausdruck eines Menschen spielt eine zentrale Rolle in der nonverbalen Kommunikation. Er kann sowohl willkürlich als auch emotional hervorgerufen werden. So kann beispielsweise im Fall einer willkürlichen zentralen Parese der Patient seinen Mund auf Aufforderung nicht willentlich zu einem Lächeln formen, jedoch spontan emotional lachen. Diese Tatsache lässt darauf schließen, dass zwei getrennte neuronale Kontrollsysteme existieren, die unterschiedliche kortikale Bahnen nutzen (Morecraft et al. 2004, Holstege 2002). Abhängig von der genauen Lokalisation einer zentralen Störung kann somit entweder eine willkürliche oder emotionale zentrale Fazialisparese vorliegen. Aktuelle Studien legen nahe, dass die motorische Steuerung des Gesichtsausdruckes neuronal weit aufgefächert ist. Mindestens fünf kortikale Regionen jeder Hirnhemisphäre sind beteiligt: der Primär-motorische Kortex (M1), der ventral laterale Prä-motorische Kortex (LPMCv), die Supplementär-

motorische Region der medialen Wand (M2) sowie die rostralen (M3) und kaudalen (M4) Anteile des Gyrus cinguli (Muri 2016). Während vorwiegend der Motorkortex und seine motorischen Fasern die willkürliche Gesichtsmotorik steuern, sind subkortikale Areale, meist Anteile des kaudalen Cingulums, mit der Kontrolle der emotionalen Motorik assoziiert (Kappos und Mehling 2010).

### **Willentliche Gesichtsmotorik**

Die willentliche Ansteuerung der mimischen Muskulatur wird entscheidend durch den Primär-motorischen Kortex kontrolliert (M1). Die Repräsentation des Gesichts in diesem befindet sich anterior des am weitesten lateral gelegenen Segments des Sulcus centralis (Muri 2016). Die kortikofazialen Bereiche des Primär-motorischen Kortex projizieren in alle Untergruppen des Ncl. n. facialis (Jenny und Saper 1987), sowohl kontra- als auch ipsilateral, und innervieren überwiegend die kontralateral gelegene Muskulatur der unteren Gesichtshälfte (Morecraft et al. 2001). Der ventral laterale Prä-motorische Kortex (LPMCv) ist direkt vor der Repräsentation des Gesichts in M1 gelegen (Luppino und Rizzolatti 2000) und projiziert mehrheitlich in die kontralateralen seitlichen Untergruppen des Fazialiskerngebiets, die die untere Gesichtsmuskulatur innervieren (Morecraft et al. 2001). Ebenso ist dies der Fall für die kaudalen Anteile des Gyrus cinguli (M4). Diese projizieren speziell in den dorsolateralen Anteil des lateralen Ncl. n. facialis der kontralateralen Seite, welche Motoneurone zur Innervation der oberen Lippe beinhalten. Neben diesen fast ausschließlich kontralateral projizierenden Arealen sind zwei kortikale Bereiche beschrieben, die bilateral in die Fazialiskerne projizieren (Muri 2016). Dazu gehört der faziale Repräsentationsbereich innerhalb des Supplementär-motorischen Kortex (M2) mit Bereichen der Facies mediales des Lobus frontales (Luppino und Rizzolatti 2000) sowie der rostrale Anteil des Gyrus cinguli (M3). Beide Regionen projizieren bilateral in die medialen Anteile des Ncl. n. facialis, welche die Muskulatur der oberen Gesichtshälfte innervieren (Muri 2016). M2 ist dabei nicht entscheidend an der Ausführung einfacher motorischer Aufgaben beteiligt. Vielmehr löst eine elektrische Stimulation dieser Region ein komplexes, willkürliches Bewegungsmuster des Gesichts aus (Fried et al. 1991), ohne dass eine Läsion in M2 zu einer Parese führt (Laplane et al. 1977). Es hat sich gezeigt, dass all diese Hirnregionen direkt über den Tractus corticobulbaris in den motorischen Hirnnervenkern des N. facialis projizieren (Guntinas-Lichius und Schaitkin 2015). Die Nervenfasern ziehen dabei als Teil der Pyramidenbahn durch die Capsula interna und den Pedunculus cerebri, um diese auf pontinem und medullärem Level zu verlassen, die Formatio reticularis zu kreuzen und schließlich kontralateral im Hirnstamm an den entsprechenden Hirnnervenkernen zu enden (Holstege 2002). Aktuelle systematische Untersuchungen haben



ergeben, dass die mimische Bewegung bilateral repräsentiert ist, jedoch eine deutliche kontralaterale Dominanz aufweist (Pilurzi et al. 2013).

### **Emotionale Gesichtsmotorik**

Neben der willkürlichen zentralen Ansteuerung wird die mimische Muskulatur zu einem ebenso großen Teil emotional kontrolliert (Cattaneo und Pavesi 2014). Dies ist die grundlegende Voraussetzung der nonverbalen Kommunikation und gewährleistet die Expression neuronal fest verankerter, stereotyper Gesichtsausdrücke (Cattaneo und Pavesi 2014). Störungen der emotionalen motorischen Ansteuerung können schwerwiegende Folgen für die zwischenmenschliche Interaktion mit sich führen (Dobel et al. 2013).

Das emotionale Kontrollsystem ist weitaus komplexer aufgebaut als das der willkürlichen Motorik, und dessen Bahnen und Pathophysiologie sind noch nicht vollständig verstanden (Guntinas-Lichius und Schaitkin 2015). Ein Großteil der emotionalen Steuerung wird extrapyramidal verschalten (Iwase et al. 2002). Jedoch nimmt auch der rostrale Anteil des Gyrus cinguli mit ausgedehnten Zuflüssen aus dem limbischen System und präfrontalen Bereichen (Morecraft und van Hoesen 1993, Morecraft et al. 2007) sowie Projektionen aus der Amygdala einen großen Einfluss auf die unwillkürliche Gesichtsmotorik (Morecraft et al. 2007). Des Weiteren sind der Thalamus, das periaquäduktale Grau, das Striatum und der mediale Anteil des Lobus frontalis in die emotionale motorische Kontrolle eingebunden (Hopf et al. 1992, Trosch et al. 1990, Michel et al. 2008). Isolierte emotionale Paresen der Gesichtsmuskulatur treten wesentlich seltener auf als willkürliche zentrale Fazialis paresen und lassen sich auch nach Läsionen innerhalb des Hirnstammes nachweisen (Muri 2016). Ebenso sind Fälle von willkürlichen zentralen Fazialis paresen nach ischämischem Ponsinfarkt bekannt (Töpper et al. 1995). Diese Tatsache lässt vermuten, dass neben dem Tractus corticonuclearis eine unabhängige frontothalamopontine Verbindung zum Kerngebiet des N. facialis besteht (Muri 2016). Auffallend ist, dass emotionale Paresen der mimischen Muskulatur unilateral auftreten. Dies legt eine separate Kontrolle beider Gesichtsseiten von der jeweils kontralateralen Hirnhemisphäre nahe (Cattaneo und Pavesi 2014).

Aktuell existieren zwei Hypothesen, die sich mit der Spezialisierung der Hemisphären bei der Generierung emotionaler Gesichtsausdrücke auseinandersetzen (für einen aktuellen Überblick siehe (Murray et al. 2015)). (1) Die Ergebnisse vieler Studien unterstützen die „rechte Hemisphären-Hypothese“, welche besagt, dass die linke Gesichtseite stärker an der Expression von Emotionen beteiligt ist als die rechte Gesichtseite (Campbell 1978, Borod et al. 1997). Das würde bedeuten, dass die rechte Hemisphäre eine Dominanz in der Steuerung emotionaler Gesichtsausdrücke zeigt (Muri 2016). Hypothese (2), die „obere-untere Gesichtshälfte-

## Einleitung

Hypothese“ des emotionalen Gesichtsausdruckes legt nahe, dass die linke Hirnhemisphäre vorzugsweise die emotionale Ansteuerung der unteren Gesichtshälfte kontrolliert, während die emotionale Mimik der oberen Gesichtshälfte durch die rechte Hemisphäre gesteuert wird (Ross et al. 1994, 2007a, 2007b, 2013, Ross und Pulusu 2013). Diese Hypothese wird auch durch das Vorhandensein verschiedener neuroanatomischer Verbindungen zur oberen und unteren Gesichtshälfte gestützt (Muri 2016).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Mimik des Gesichts auf einem weit verteilten Netzwerk zwischen vielen beteiligten Hirnarealen beruht. Die lateralen Gesichtsprojektionen aus M1, LPMCv und M4 beeinflussen dabei hauptsächlich die kontralaterale Gesichtsmuskulatur der unteren Gesichtshälfte, während die medialen Motorareale, wie M2 und M3, überwiegend die Muskulatur der oberen Gesichtshälfte kontrollieren, möglicherweise bilateral. Darüber hinaus spielen die kortikofazialen Projektionen des Gyrus cinguli mit Zuflüssen aus der Amygdala eine spezielle Rolle in der emotionalen Mimik (Muri 2016).

### **Nucleus nervi facialis**

Der motorische Hirnnervenkern des N. facialis ist der größte aller motorischen Hirnnervkerne des Hirnstamms (Cattaneo und Pavesi 2014). Er befindet sich im ventrolateralen Bereich des Pons (Jenny und Saper 1987) und lässt sich in mindestens vier Untergruppen teilen: den medialen, lateralen, intermediären und dorsalen Subnucleus (Morecraft et al. 2001). Der laterale Subnucleus nimmt den größten Bereich des Ncl. n. facialis ein. Er beinhaltet die Motoneurone zur Innervation der perioralen Muskulatur des Gesichts (Holstege 2002) und erhält überwiegend kortikofaziale Fasern aus M1, LPMCv und M4 der kontralateralen Hemisphäre. Zudem hat sich gezeigt, dass der dorsale Bereich des lateralen Subnucleus die obere Mundpartie innerviert und somit für das Lächeln verantwortlich ist, während der ventrale Part die Muskulatur im unteren Mundbereich ansteuert (Holstege 2002). Im Gegensatz dazu ist die mediale Subgruppe, welche die Muskulatur der oberen Gesichtshälfte, besonders des Ohres, innerviert, sehr klein, da das Ohr über eine weitaus geringere Menge an Muskeln verfügt als der Mundbereich (Holstege 2002). Angesteuert wird der mediale Subnucleus überwiegend bilateral aus M2 und M3 (Muri 2016). Ebenso erhält auch der dorsale und intermediäre Subnucleus bilaterale kortikofaziale Fasern aus M2 und M3 zur Innervation der Augen- und Stirnmuskulatur (Morecraft et al. 2001). Eine Läsion in einem der motorischen fazialen Hirnareale hat somit nicht den Ausfall eines einzelnen Muskels, sondern einer Gruppe von Gesichtsmuskeln zur Folge (Morecraft et al. 2004).

### **Neuroanatomische Unterscheidung zwischen zentraler und peripherer Fazialisparese**

Das typische klinische Erscheinungsbild einer kontralateralen fazialen Parese der unteren Gesichtshälfte, mit Aussparung des oberen Gesichts, ist auf die gestörte Ansteuerung des lateralen Subnucleus des Ncl. n. faciales zurückzuführen. Dieses Areal erhält kortikofaziale Fasern aus M1 – dem primären Motorkortex, welcher im Versorgungsgebiet der Arteria (A.) cerebri media liegt. Eine Ischämie im Versorgungsgebiet der Art. cerebri media stellt die häufigste Form des Schlaganfalls dar (Morecraft et al. 2004) und geht neben einer Hemiparese der oberen Extremität häufig mit einer kontralateralen Parese der unteren Gesichtshälfte einher (Jenny und Saper 1987, Adams et al. 1997). Lange Zeit wurde anhand empirischer Beobachtungen davon ausgegangen, dass sich dieses klinische Erscheinungsbild aufgrund einer rein kontralateralen Innervation der unteren Gesichtshälfte aus dem oberen Bereich des Ncl n. facialis und einer bilateralen Innervation des oberen Gesichts aus der unteren Hälfte des motorischen Fazialiskerngebiets zeigt (Ghez und Krakauer 2000). Diese Hypothese wurde nie experimentell validiert und muss aufgrund neuer Forschungsergebnisse in Frage gestellt werden (Morecraft et al. 2004). Zudem wiesen bereits 1988 durchgeführte Untersuchungen mittels transkranieller Magnetstimulation (TMS) darauf hin, dass ebenfalls bilaterale kortikonukleäre Projektionen zur Innervation der unteren Gesichtshälfte bestehen (Benecke et al. 1988).

Aktuell werden zwei alternative Erklärungen für die klassische klinische Präsentation einer zentralen Fazialisparese bei Patienten nach Schlaganfall diskutiert. Forschungsergebnisse von Morecraft et al. legen nahe, dass die intakten bilateralen, kortikofazialen Projektionen der medialen Hirnhemisphärenwand (M2 und M3) bei Patienten mit Mediainfarkt die Innervation der Muskulatur der oberen Gesichtshälfte gewährleisten und eine Parese somit auf die untere Gesichtshälfte beschränkt ist (Morecraft et al. 2004). Die medialen motorischen Hirnareale zur Kontrolle der mimischen Muskulatur des oberen Gesichts liegen nicht im Versorgungsgebiet der A. cerebri media, sondern werden durch die A. cerebri anterior versorgt, wodurch diese Areale von der häufigsten Form eines Schlaganfalls, dem Mediainfarkt, nicht betroffen wären (Morecraft et al. 2001). Eine weitere Vermutung, die die traditionelle Erklärung der Aussparung der oberen Gesichtshälfte in Frage stellt, ist die topische Anordnung des Ncl. n. facialis in longitudinalen Spalten (Morecraft et al. 2001, Simonyan und Jürgens 2003, Welt und Abbs 1990). Eine Folge dieser Organisation wäre der Ausfall isolierter Gruppen von mimischen Muskeln infolge kleiner Schädigungen in Subnuclei der beiden motorischen Fazialiskerngebiete (Morecraft et al. 2004).

### **Zentrale Läsionen**

Nicht nur Läsionen im Versorgungsgebiet der A. cerebri media können eine zentrale Fazialisparese zur Folge haben. Prinzipiell kann diese durch jegliche Pathologie zwischen Motorcortex und fazialen Hirnnervenkernen im Hirnstamm sowie emotionalen Projektionen der extrapyramidalen Bahnen hervorgerufen werden. Sind Nervenfasern distal des Ncl. n. facialis betroffen, zeigt sich das klinische Bild einer peripheren Fazialisparese mit motorischen Defiziten des gesamten Gesichts. In Abhängigkeit der genauen Lokalisation kann demzufolge auch bei Schädigung auf der Ebene des Pons eine willkürliche oder emotionale zentrale Fazialisparese bestehen. Dies wird zum Beispiel in einem Fallbericht durch Urban et al. beschrieben, in welchem ein Patient mit willkürlicher zentraler Fazialisparese aufgrund eines kontralateralen Infarktes im mediodorsalen Bereich des mittleren Pons vorgestellt wird. Mittels transkranieller Magnetstimulation konnte die Beteiligung supranukleärer kortikofazialer Fasern bewiesen werden (Urban et al. 1998). Es wird angenommen, dass diese im Pars basilaris pontis nach kaudal in Richtung Tegmentum verlaufen und somit im Fall eines paramedianen Infarktes des Pons neben einer Dysarthrie auch eine zentrale Fazialisparese zur Folge haben können (Kataoka et al. 1997). Ebenso zeigen Untersuchungen von Kataoka et al., dass in rund 78 % eines basalen, 87 % eines basal-tegmentalen sowie 57 % eines tegmentalen Infarktes des paramedianen Pons neurologische Zeichen einer supranukleären Fazialisparese nachweisbar sind (Rathore et al. 2002).

### **1.2 Zentrale Fazialisparese**

Nachdem zunächst alle für diese Arbeit wichtigen anatomischen und neuroanatomischen Grundlagen beleuchtet wurden, sollen im Folgenden die für die bereits beschriebenen zentralen Läsionen häufigsten Ursachen, wie Schlaganfall, Neoplasie und Inflammation erläutert werden. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf dem Schlaganfall, welcher nicht nur im Allgemeinen die häufigste Ursache der zentralen Fazialisparese darstellt, sondern auch alle im Rahmen dieser Studie untersuchten Patienten mit zentraler Fazialisparese betrifft. Aus diesem Grund soll im Weiteren im Detail auf wichtige Aspekte des Schlaganfalls eingegangen werden.

#### **1.2.1 Ätiologie**

##### **Schlaganfall**

Ursächlich für eine zentrale Fazialisparese ist in der überwiegenden Zahl der Fälle ein Schlaganfall (Svensson et al. 1992). Dieser tritt in Deutschland mit einer Inzidenz von 319,6 pro 100.000 Einwohner (Stand 2008) auf (Heuschmann et al. 2010) und nimmt in seiner Häufigkeit exponentiell mit dem Alter zu (Truelsen et al. 2006, Williams et al. 1999). Der

## Einleitung

Schlaganfall ist die häufigste neurologische Erkrankung und die dritthäufigste Todesursache in Deutschland (Kolominsky-Rabas und Heuschmann 2002). Aufgrund der zunehmenden Alterung der Bevölkerung wird die Prävalenz des Schlaganfalls in den kommenden Jahren signifikant steigen (Mukherjee und Patil 2011). Damit verbunden ist auch die Zunahme an erworbenen Behinderungen im Erwachsenenalter, in der Mehrzahl der Fälle verursacht durch einen Schlaganfall (Johnston et al. 2009). So auch die zentrale Fazialisparese, welche zwei Drittel aller Schlaganfall-Patienten betrifft (Guntinas-Lichius und Schaitkin 2015).

„Ein Schlaganfall ist definiert als ein sich rasch entwickelndes Zeichen einer fokalen oder globalen Störung der zerebralen Funktion, ohne offensichtliche Ursache, außer einer vaskulären, mit Symptomen, welche 24 h oder länger andauern oder zum Tode führen“ (Bonita 1992). 88 % aller Schlaganfälle äußern sich durch das Auftreten mindestens eines der folgenden Symptome: Parese des Arms, Parese des Gesichts und Sprachstörungen (Jauch et al. 2013). Weitere häufig auftretende Symptome umfassen Vigilanzstörungen, Hemianopsie und Diplopie, Parese des Beins sowie Sensibilitätsstörungen der Arme, Beine und des Gesichts (Rathore et al. 2002). Bei Verdacht auf einen Schlaganfall ist eine umgehende Notfalldiagnostik durchzuführen, um schnellstmöglich eine optimale Therapie einleiten zu können. Diese ist abhängig von der Ursache des Schlaganfalls.

Meist handelt es sich um einen ischämischen, seltener um einen hämorrhagischen Insult. Eine Ischämie kann sowohl durch die Minderdurchblutung großer hirnversorgender Gefäße als auch kleiner Arterien verursacht werden (Adams et al. 1993). Ausgedehnte Infarkte der Großhirnhemisphären resultieren meist aus arteriosklerotischen Gefäßläsionen der Arteria carotis interna oder der Zerebralarterien und gehen mit einer höheren Letalität als lakunäre Infarkte einher (Bamford et al. 1991). Neuere Studien zeigten, dass eine Bildgebung der Schlaganfall-Penumbra mittels diffusionsgewichteter Magnetresonanztomografie und Perfusionsmessung differenziertere Aussagen über das Outcome der Patienten zulassen (Fisher und Albers 2013). Eine Penumbra um den Infarktkern erwies sich als günstiger prognostischer Marker und hatte für betroffene Patienten einen geringeren Grad der Behinderung zur Folge als für jene, die keine Penumbra in der Bildgebung aufwiesen (Kidwell et al. 2013). Als einzige evidenzbasierte Therapie des ischämischen Infarktes galt bisher, nach Ausschluss einer Hämorrhagie, die intravenöse Lyse mit einem gewebespezifische Plasminogenaktivator (engl.: recombinant tissue-type plasminogen activator, rtPA) innerhalb eines Zeitfensters von 4,5 h. Diese ist umso effektiver, je früher nach Einsetzen der Symptome mit der Therapie begonnen wird (Hacke et al. 2008). Es gilt – „Time is brain“. Die im Oktober 2015 neu veröffentlichte Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Neurologie zur Behandlung des akuten, ischämischen

## Einleitung

Schlaganfalls empfiehlt aufgrund richtungsweisender Studien zusätzlich zur intravenösen Lysetherapie nun auch eine interventionelle Rekanalisation. Bei Patienten mit klinisch-neurologischem Defizit und großem arteriellen Gefäßverschluss im vorderen Kreislauf ist eine mechanische Thrombektomie zusätzlich zur systemischen rtPA-Therapie bis zu 6 h nach Auftreten der ersten Symptome angeraten (Deutsche Gesellschaft für Neurologie 2015). Daneben ist bei Patienten mit ausgedehnten arteriosklerotischen Stenosen der A. carotis interna eine frühzeitige Endarteriektomie angeraten. Diese senkt das Risiko eines Re-Infarktes und sollte innerhalb einer Woche nach Symptombeginn durchgeführt werden (Fairhead et al. 2005). Gleichwertige Langzeitergebnisse erzielte die stentgestützte Angioplastie der Carotis in einer internationalen Studie unter Leitung der Neurologischen Universitätsklinik Heidelberg (Eckstein et al. 2008).

Reinfarkte treten am häufigsten nach kardioembolisch bedingten Erst-Infarkten auf (Sage und Van Uiter 1983). Aus diesem Grund ist die Abklärung potentieller kardialer oder vaskulärer Ursachen des Schlaganfalls ein wichtiger Teil der unverzüglichen Diagnostik und hat großen Einfluss auf die Wahl der geeigneten Therapie. Jeder Patient mit zentraler Fazialisparese, verursacht durch einen Schlaganfall, sollte im Rahmen einer stationären Umgebung überwacht werden (Jauch et al. 2013). Spezielle „Stroke Units“ versorgen alle Schlaganfall-Patienten, unabhängig von der Art des Infarktes. Neben ischämischen Infarkten können auch Hämorrhagien eine zentrale Fazialisparese zur Folge haben. Mit 20 % aller Schlaganfälle kommen intrazerebrale Blutungen und subarachnoidale Blutungen wesentlich seltener vor als Ischämien (Steiner et al. 2006), weisen jedoch für betroffene Patienten eine signifikant schlechtere Prognose auf und gehen mit längeren Krankenhausaufenthalten und höheren Mortalitätsraten einher (Williams et al. 1999). Klinisch kann eine intrazerebrale Blutung nicht zweifelsfrei von einer Ischämie unterschieden werden. Die Symptome, in der Regel beginnend mit einer Hemiparese, treten allmählich und langsam fortschreitend auf. Seltener zeigt sich ein abrupter Beginn mit Bewusstseinsstörungen innerhalb weniger Momente (Steiner et al. 2006). Zur Diagnosestellung ist eine Bildgebung deshalb streng erforderlich. Das Notfallmanagement und die allgemeine Therapie der intrazerebralen Blutung unterscheidet sich nicht wesentlich von der des hämorrhagischen Insults (European Stroke Initiative Executive Committee et al. 2003). Die allgemeine Therapie beinhaltet die Erhebung des neurologischen Status mittels GCS (Glasgow Coma Scale) oder NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale), die Überwachung der Vitalparameter, hier besonders des Blutdrucks, sowie die kontinuierliche Kontrolle des Blutzuckers, des Flüssigkeits- und Elektrolythaushalts und des Säure-Base-Haushalts. Darüber hinaus ist auf die Prävention und Therapie von neurologischen und

## Einleitung

medizinischen Komplikationen zu achten (z.B.: Ödeme, Krämpfe, Aspiration, Infektion, Dekubitus, tiefe Beinvenenthrombose, pulmonale Embolie) und eine frühzeitige Sekundärprävention und Rehabilitation sind einzuleiten (Steiner et al. 2006).

Als wichtige Ansatzpunkte der Sekundärprävention zählen die Senkung des Blutdrucks, Nikotinkarenz, körperliche Bewegung und eine gesunde Ernährung (Gorelick et al. 1999). Untersuchungen von O'Donnell et al. konnten zehn Risikofaktoren identifizieren, welche mit 90% des Risikos assoziiert waren, einen ischämischen oder hämorrhagischen Schlaganfall zu erleiden. Zu diesen zehn Risikofaktoren zählen folgende: Hypertonie, Nikotinabusus, Stammfettsucht, ungesunde Ernährung, mangelnde körperlicher Bewegung, Verhältnis von Apolipoprotein B zu A1, Alkoholkonsum, Diabetes mellitus, kardiale Ursachen und psychosoziale Faktoren, wie eine Depression. Die arterielle Hypertonie zeigte sich als wichtigster Risikofaktor aller Schlaganfalltypen (O'Donnell et al. 2010).

### **Neoplasie**

Eine weit seltenere Ursache der zentralen Fazialisparese stellen Neoplasien dar. Diese können sowohl benigner als auch maligner Natur sein. Oft äußern sich Hirntumore initial durch Kopfschmerzen, Krampfanfälle, Übelkeit und Erbrechen, Doppelbilder (Newton 1994) sowie einer Beeinträchtigung von Hirnnerven. Diese Symptome resultieren durch einen erhöhten Hirndruck aufgrund der raumfordernden Neoplasie bzw. einer Blutung dieser. Eine Raumforderung in einem der Areale, das die faziale Bewegungssteuerung repräsentiert, kann eine Schwäche der Gesichtsmuskulatur und eine Asymmetrie des Gesichts zur Folge haben. In der Regel zeigen die Symptome einen schleichenden Beginn und einen langsam progressiven Verlauf (Jackson et al. 1980). Diese nur allmähliche Verschlechterung der Symptomatik kann durch kortikale Reorganisations- und Kompensationsmechanismen erklärt werden, welche zu einer ausgeprägten Asymmetrie des Gesichts im Ruhezustand und einer lediglich leichten Schwäche während willkürlicher Gesichtsbewegungen führen (Guntinas-Lichius und Schaitkin 2015). Das klinische Erscheinungsbild kann in diesem Fall nur schwer von einer zurückliegenden, inkomplett kompensierten zentralen Läsion, wie einem Schlaganfall, unterschieden werden. Gut abgrenzbar hingegen sind plötzlich auftretende Läsionen, welche primär die willkürliche Motorik des Gesichts beeinträchtigen und den Ruhetonus der Gesichtsmuskulatur lediglich geringfügig reduzieren (Guntinas-Lichius und Schaitkin 2015). Obwohl Tumoren im Gegensatz zu Schlaganfällen eine sehr seltene Ursache der zentralen Fazialisparese darstellen, müssen neu auftretende neurologische Defizite bei Patienten mit bekannter Tumordiagnose an Hirnmetastasen denken lassen und eine umgehende Diagnostik sollte eingeleitet werden.

### **Inflammation**

Entzündliche Prozesse im Gehirn sind auf vielfältige Ursachen zurückzuführen und weisen eine ebenso heterogene Symptomatik auf. Häufig sind Kopfschmerzen, kognitive Defizite, Krampfanfälle und Desorientierung festzustellen. Neben diffusen neurologischen Störungen finden sich ebenfalls fokale-neurologische Defizite, wie die Beeinträchtigung einzelner Hirnnerven. Etwa zwei Drittel aller Patienten mit akuter Enzephalitis weisen eine typische Symptomtrias mit Fieber, Nackensteife und Bewusstseinsstörungen auf (Somand und Meurer 2009). Als Ursache dieser Symptome müssen neben infektiösen Faktoren auch nicht infektiöse Ursachen, wie postinfektiöse, autoimmune und paraneoplastische Prozesse in Betracht gezogen werden. Zu den chronisch-entzündlichen Erkrankungen des Zentralen Nervensystems zählt die Multiple Sklerose (MS), mit einer Prävalenz von 83 pro 100.000 Einwohner (Europa, Stand 2006) (Pugliatti et al. 2006). Diese manifestiert sich bereits im frühen Erwachsenenalter und ist auf eine Demyelinisierung der Axone (Lucchinetti et al. 2000) zurückzuführen. Abhängig von der Lokalisation der Läsion weisen betroffene Patienten entsprechende Defizite auf (Charil et al. 2003). In 2,7% der Fälle ist eine zentrale Fazialisparese das erste Symptom einer MS (Zadro et al. 2008). Im Verlauf der Erkrankung leiden bis zu 24,3% aller Patienten mit MS an einer zentralen Fazialisparese (Fukazawa et al. 1997).

#### **1.2.2 Klinisches Erscheinungsbild**

Die zentrale Fazialisparese zeigt ein typisches klinisches Erscheinungsbild, welches es ermöglichen kann, sie gegen eine periphere Fazialisparese abzugrenzen. Eine zweifelsfreie Diagnose mittels Bildgebung ist jedoch aufgrund der potentiell lebensgefährlichen Ursachen zwingend erforderlich. Patienten mit zentraler Fazialisparese präsentieren sich typischerweise mit folgendem klinischen Erscheinungsbild: einem Mundwinkeltiefstand und dem damit verbundenen Herauslaufen von Flüssigkeiten oder Speichel, einem schiefen Lächeln, einer verstrichenen Nasolabialfalte und einer generellen Asymmetrie der unteren Gesichtshälfte aufgrund der gestörten Ansteuerung der mimischen Muskulatur dieses Bereichs. Betroffene Patienten sind somit nur bedingt in der Lage ihrem Gegenüber positive und negative Emotionen mit einem Lächeln oder dem Herabziehen der Mundwinkel zu signalisieren. Die obere Gesichtshälfte mit der Stirn- und Augenpartie ist meist nur schwach oder gar nicht betroffen, wodurch der Augenschluss und das Stirnrunzeln in der Regel uneingeschränkt möglich sind. Dies unterscheidet die zentrale von der peripheren Fazialisparese, welche durch die direkte Schädigung des Ncl. n. facialis oder der infranukleären fazialen Nervenfasern die mimische Muskulatur des gesamten Gesichts beeinträchtigt. Abb. 1.3 zeigt beispielhaft die



## Einleitung

eingeschränkte Motorik der unteren Gesichtshälfte eines Patienten mit zentraler Fazialisparese, bei erhaltener Funktion des oberen Gesichts.



**Abb. 1.3: Patient mit zentraler Fazialisparese nach Schlaganfall**  
a in Ruhe. b Augenbrauen nach oben ziehend. c Lächelnd. d Zähne zeigend.

### 1.2.3 Verlauf

Es hat sich gezeigt, dass die Wiedererlangung der Funktion der betroffenen mimischen Muskulatur bei Patienten mit zentraler Fazialisparese nach Schlaganfall möglicherweise spontan und unabhängig von speziell durchgeführtem Training geschieht. So konnten Svensson et al. bei Patienten mit zentraler Fazialisparese eine signifikante Verbesserung der mimischen Funktion einen Monat nach Aufnahme in eine Rehabilitationseinrichtung feststellen. Diese ließ sich sowohl in der Gruppe der Patienten, welche ein spezielles Training der mimischen Muskulatur erhielten, als auch in der Kontrollgruppe nachweisen. Nach sechs Monaten zeigten 2/3 aller Patienten eine normale oder lediglich leicht eingeschränkte mimische Funktion. Dies lässt laut Svensson et al. eine spontane Remission der zentralen Fazialisparese erwarten und eine spezielle Therapie, beispielsweise mittels EMG-biofeedback, kann nicht empfohlen werden (Svensson et al. 1992). Unterstützt wird diese Annahme durch verschiedene neuroanatomische Gegebenheiten. Die Tatsache, dass scheinbar alle kortikalen fazialen Repräsentationen zu einem gewissen Grad alle Subnuclei des N. facialis innervieren, weist darauf hin, dass diese im Falle einer zentralen Läsion mit Ausfall einzelner Motorareale ebenfalls an der motorischen Genesung beteiligt sind (Morecraft et al. 2001). Darüber hinaus lassen Untersuchungen von Muri et al. vermuten, dass auch die Projektionen aus dem kaudalen Gyrus cinguli zur emotionalen motorischen Ansteuerung der mimischen Muskulatur bei Patienten mit willkürlicher Fazialisparese zu ihrer Überwindung beitragen können (Muri 2016). Auch die ipsilateralen kortikonukleären Fasern der nicht betroffenen Hemisphäre zeigten zwei bis drei Wochen nach Schlaganfall eine erhöhte Aktivität, was ebenfalls auf eine Beteiligung am Genesungsprozess hinweisen kann (Yildiz et al. 2005). Die durch einen Infarkt bedingte zentrale Fazialisparese weist in der Regel im Gegensatz zu einer Parese der Extremitäten eine

schnelle Besserung der Symptome auf. Dies ist unter anderem auf die vielfältige kortikonukleäre Innervation (Morecraft et al. 2001) und die rasche zentrale Reorganisation zurückzuführen (Yildiz et al. 2005).

### **1.3 Sonografie der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur**

Die Sonografie als bildgebendes Verfahren zur Darstellung der mimischen Muskulatur wurde erstmals durch eine Arbeitsgruppe in Wien im Jahr 1988 dokumentiert. Diese beschreibt die Sonografie als wertvolles diagnostisches Instrument zur Planung und Verlaufskontrolle plastischer Operationen und rekonstruktiver Eingriffe der mimischen Muskulatur sowie als Methode zur routinemäßigen klinischen Anwendung (Balogh et al. 1988). Bis heute konnten große Fortschritte in der Ultraschalltechnik erzielt werden, sodass es verschiedenen Forschungsgruppen möglich war, einzelne mimische Muskeln sonografisch abzubilden und mit entsprechender Auswertungssoftware zu quantifizieren (Vinkka-Puhakka et al. 1989, McAlister et al. 1998, Roedel et al. 1998). Eine Übersicht über die chronologischen Fortschritte der Sonografie der mimischen Muskulatur kann der Dissertationsarbeit von Maik Sauer entnommen werden (Sauer 2014).

Die Sonografie stellt ein nicht invasives, kostengünstiges und nebenwirkungsfreies Verfahren dar, welches in der Lage ist, die Morphologie, den Grad der Atrophie und die dynamischen Eigenschaften einzelner mimischer Muskeln reliabel abzubilden. Nachdem standardisierte Untersuchungsprotokolle zur Quantifizierung der wichtigsten mimischen Muskeln erarbeitet wurden (Volk et al. 2013, Alfen et al. 2013), konnten sowohl die Reliabilität der Methode als auch geschlechts- und altersspezifische Referenzwerte ermittelt und die Anwendung bei Patienten mit peripherer Fazialisparese getestet werden (Sauer et al. 2016, Volk et al. 2014b, Volk et al. 2014a, Volk et al. 2013). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde darauf aufbauend mit bestehenden Untersuchungsprotokollen gearbeitet, um die Anwendung der Sonografie auch im Kontext einer zentralen Fazialisparese zu testen.

## **2 Ziele der Arbeit**

Die zentrale Fazialisparese ist Ausdruck einer gestörten zentralen Ansteuerung der durch den N. facialis innervierten Muskulatur und äußert sich durch meist einseitig auftretende Bewegungsstörungen der mimischen Muskeln. Besonders im unteren Bereich des Gesichts weisen die Betroffenen eine Asymmetrie mit funktionellen Störungen, wie dem Herabhängen des Mundwinkels und damit erschwelter Nahrungsaufnahme auf. Um zu untersuchen, ob eine zentrale Fazialisparese neben diesen funktionellen Einschränkungen auch Einfluss auf die Größe der mimischen Muskulatur hat, war das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit die explorative, sonografische Untersuchung der Gesichtsmuskulatur bei Patienten, die aufgrund eines Schlaganfalls an einer zentralen Fazialisparese litten.

Die Sonografie der Gesichtsmuskulatur wurde bereits als quantitative Untersuchungsmethode bei Patienten mit unilateraler, peripherer Fazialisparese angewendet (Volk et al. 2014b). In dieser Studie wiesen Volk et al. eine signifikant kleinere Größe der paretischen Gesichtsmuskulatur nach. Im Gegensatz dazu liegen zum aktuellen Zeitpunkt keine Daten zur Sonografie bei zentraler Fazialisparese vor. Somit galt es zunächst anhand eines festgelegten Untersuchungsablaufes, mittels Sonografie, die geschlechtsspezifische Größe ausgewählter mimischer Muskeln und Kaumuskeln der paretischen und der kontralateralen Gesichtsseite zu quantifizieren. Frühere Untersuchungen zeigten keine signifikanten Seitenunterschiede der Muskelgröße bei gesunden Probanden (Volk et al. 2014a), daher konnte in dieser Arbeit die Muskelgröße der kontralateralen Gesichtsseite als Referenz verwendet werden. Zur Beurteilung des Einflusses der zentralen Fazialisparese auf die Größe der Gesichtsmuskulatur bot es sich deshalb an, die paretische und die kontralaterale Seite miteinander zu vergleichen. Da allerdings auch die kontralaterale, nicht von der Parese betroffene Seite sekundär durch die zentrale Fazialisparese hätte beeinflusst sein können, war es sinnvoll, nicht nur den Größenunterschied der beiden Gesichtsseiten untereinander zu betrachten, sondern die Muskelgrößen zusätzlich mit bereits bekannten Referenzwerten gesunder Probanden zu vergleichen. Darüber hinaus galt es zu eruieren, ob sich mögliche Größenänderungen sowohl auf die Muskulatur im Ruhezustand als auch im kontrahierten Zustand, während der Durchführung bestimmter Gesichtsbewegungen, auswirken.

Die Größe der Gesichtsmuskulatur sollte ebenfalls hinsichtlich des Einflusses bestimmter Patientencharakteristika wie beispielweise dem Patientenalter untersucht werden, da bereits für die Skelettmuskulatur bewiesen werden konnte, dass ein Zusammenhang zwischen zunehmendem Alter und abnehmender Muskelgröße besteht (Tsubahara et al. 1995). Weitere zu untersuchende Einflussfaktoren, welche möglicherweise mit der Muskelgröße korrelieren,

### Ziele der Arbeit

waren die Körpergröße, das Körpergewicht, der Body-Mass-Index sowie die Paresedauer. Neben dem Einfluss der Paresedauer bis zum Zeitpunkt der ersten Sonografie, sollte ebenfalls die Veränderung der Muskelgröße im Verlauf der Rehabilitation untersucht werden. Zu diesem Zweck sollte die Ultraschalluntersuchung sowohl zu Aufnahmebeginn als auch vor Entlassung aus der Rehabilitationsklinik durchgeführt werden, um so die Muskelgrößen beider Zeitpunkte vergleichen zu können.

### **3 Methodik**

Für diese Studie lag ein positives Votum der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena vor. Alle in die Studie eingeschlossenen Patienten wurden nach Aufnahme und vor Beginn der Untersuchungen ausführlich über den Untersuchungsablauf und die Verwendung der erhobenen Daten aufgeklärt. Es lag ein schriftliches Einverständnis aller untersuchten Patienten vor.

#### **3.1 Pilotphase**

Im Folgenden soll zunächst eine kurze Übersicht über den Verlauf der Erstellung dieser Arbeit gegeben werden. Zu Beginn der Studie wurden die zu untersuchenden Gesichtsmuskeln und ein geeigneter Untersuchungsablauf festgelegt. Die Wahl der Gesichtsmuskulatur und deren genaue Abbildung mittels Ultraschall wurde anhand bereits etablierter Untersuchungsprotokolle zum Ultraschall der Gesichtsmuskulatur bei Erwachsenen vorgenommen (Volk et al. 2014a). Entsprechend wurde das Untersuchungsprotokoll auf die Anwendung bei zentraler Fazialisparese übertragen und an die zur Verfügung stehenden technischen Mittel angepasst. Es folgte die Einstellung des durch die Moritz Klinik Bad Klosterlausnitz zur Verfügung gestellten Ultraschallgerätes Xario SSA-660A (Toshiba, Japan). Eine geeignete Voreinstellung (Preset) wurde gewählt und im Verlauf der Pilotphase optimiert, wie in Kapitel 3.4 genauer beschrieben wird. Die folgende Datensammlung wurde unter den festgelegten, immer gleichen Untersuchungsbedingungen und Voreinstellungen des Ultraschallgerätes durchgeführt. Im Anschluss wurden die Ultraschallaufnahmen mittels der Software Sante DICOM Editor 3D V.1.1.10 (Santesoft, Griechenland) quantitativ vermessen und mithilfe von Excel 2016 (Microsoft, USA) und der Statistiksoftware SPSS Statistics 22.0 (IBM, USA) ausgewertet.

#### **3.2 Patienten**

Die Datenerhebung der vorliegenden Arbeit erfolgte in der Moritz Klinik in Bad Klosterlausnitz, einer Rehabilitations-Fachklinik für Neurologie und Orthopädie/Traumatologie. Über einen Zeitraum von September 2014 bis Juli 2015 wurden Daten von 54 Patienten erhoben, die nach einem Schlaganfall in der Moritz Klinik rehabilitiert wurden. Alle Patienten wurden nach der stationären Aufnahme einem Ultraschall der Gesichtsmuskulatur und ausführlichen Aufnahmeuntersuchen unterzogen, welche die folgenden Parameter beinhalteten: Alter, Körpergröße, Körpergewicht, Geschlecht, Datum des Schlaganfalls, Diagnose sowie die Ergebnisse der House-Brackmann Skala (House und Brackmann 1985) und des Stennert Parese-Index (Stennert et al. 1977). Diese Werte wurden

sowohl zur Aufnahme als auch vor der Entlassung der Patienten erhoben. Im Rahmen dieser Arbeit fanden die biometrischen Patientenmerkmale sowie die Punktwerte des Stennert Parese-Index‘ und der House-Brackmann Skala zum Aufnahmezeitpunkt Berücksichtigung.

Neben den 54 untersuchten Patienten zeigten sich 49 Patienten, unter anderem aufgrund von bestehenden Bewusstseinsstörungen oder Aphasien, nicht einwilligungsfähig, 18 Patienten lehnten die Studie ab und 19 Patienten wurden aus sonstigen Gründen, zum Beispiel einer vorzeitigen Abreise aus der Rehabilitationseinrichtung, nicht mit in die Studie aufgenommen.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Patienten, welche keine offensichtliche Fazialisparese mehr zeigten und deren Gesicht keinen Unterschied zu einem prämorbidem Foto aufwies. Ebenfalls nicht in die Studie eingeschlossen wurden Patienten, die ein komplexes Infarktgeschehen mit mehreren betroffenen, hirnersorgenden Arterien aufwiesen und somit einen mehrseitigen, mehrzeitigen und/oder mehrere Territorien betreffenden Schlaganfall erlitten hatten. Zudem wurden Patienten mit einem chronischen Zustand der Fazialisparese ausgeschlossen sowie Patienten mit lediglich sensiblen Ausfällen im Gesicht und Patienten, welche aufgrund einer einhergehenden Aphasie nicht in der Lage waren, die Fragebögen zu beantworten. Darüber hinaus wurden auch Patienten mit komplexen Krankheitsbildern wie zum Beispiel einer vorbestehenden peripheren Fazialisparese, Multipler Sklerose oder Parkinson nicht für die Studie herangezogen.

Durch den Ausschluss von Patienten mit komplexen Infarktgeschehen wurde versucht, lediglich Patienten mit einseitig auftretender, zentraler Parese zu untersuchen. Trotz bildgebender Verfahren konnte jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass ebenso hirnersorgende Gefäße der kontralateralen Seite des diagnostizierten Infarktes mitbetroffen waren und somit die Parese nicht streng auf eine Gesichtsseite begrenzt war.

### **3.3 Positionierung des Ultraschallkopfes**

Die Beurteilung der Gesichtsmuskulatur mittels Ultraschall setzte eine präzise Positionierung des Ultraschallkopfes voraus. Dies war eine Grundvoraussetzung für die vergleichbare Vermessung der Muskelgrößen aller aufgenommenen Ultraschallbilder. Um eine reproduzierbare Darstellung der untersuchten Muskulatur zu gewährleisten, wurde stets versucht, den Ultraschallkopf annähernd im rechten Winkel zur Hautoberfläche aufzusetzen. Eine Abweichung aus dieser Position hätte, aufgrund der schräg angeschnittenen Schallebene des Muskels, verfälschte Messwerte zur Folge gehabt. Darüber hinaus war es von außerordentlicher Wichtigkeit eine ausreichende Menge Ultraschallgel zu verwenden. Dies stellte eine optimale Ankopplung des Schallkopfes an die Hautoberfläche sicher und ermöglichte es, den Schallkopf nicht direkt auf die Haut aufsetzen zu müssen. Andernfalls hätte

der Schallkopf durch den ausgeübten Druck eine Kompression der Muskulatur verursachen und damit zu einer systematischen Verfälschung der Messwerte führen können (Sauer 2014).

### **3.4 Voreinstellung des Ultraschallgerätes - Preset**

Alle Untersuchungen wurden mit einem Xario SSA-660A Ultraschallgerät (Toshiba, Japan) vorgenommen. Um während der Datenerhebung mit optimalen Geräteeinstellungen arbeiten zu können, wurde im Vorfeld die Sonografie mit verschiedenen Einstellungen getestet, bis ein geeignetes, für alle Patienten anwendbares Preset gefunden wurde. Dieses ermöglichte die optimale Abgrenzung der zu vermessenden Strukturen gegen das umliegende Binde- und Fettgewebe und wurde während der gesamten Datenerhebung unverändert angewendet. Für die Sonografie der Gesichtsmuskulatur ist ein hochfrequenter Linearschallkopf (12MHz) mit einem mechanischen Index (MI) von 1,5 und einem thermischen Index (TIS) von 0,5 bei einer Verstärkung von 90 unter konstanter TGC (Time Gain Compensation, Tiefenausgleich) zum Einsatz gekommen. Es wurde eine Bildtiefe von 3 cm gewählt, sodass die gesamte Tiefenausdehnung der zu vermessenden Strukturen abgebildet werden konnte. Der Fokus wurde aufgrund der oberflächlichen Lage der Gesichtsmuskulatur auf einen Bereich zwischen 0,75 cm und 1,5 cm festgelegt. Ein Pixel entsprach dabei 0,079 mm.

### **3.5 Auswahl der Gesichtsmuskulatur**

Vor Beginn der Datenerhebung wurden neun Gesichtsmuskeln ausgewählt, die sich sonografisch eindeutig gegen das umliegende Fett- und Bindegewebe abgrenzen und sich ohne ein- und ausstrahlende Muskelfasern angrenzender Muskeln abbilden ließen. Außerdem wurde darauf geachtet, dass alle Muskeln anhand von anatomischen Landmarken auffindbar waren (Sauer 2014). Bei sieben der neun gewählten Muskeln handelte es sich um mimische Muskeln, welche jeweils durch einen der fünf Endäste des Plexus intraparotideus des N. facialis innerviert werden. Zu dieser Gruppe zählten der Musculus (M.) mentalis, der M. depressor anguli oris, der M. depressor labii inferioris, der M. zygomaticus major, M. orbicularis oris, der M. frontalis und der M. orbicularis oculi. Neben diesen sieben mimischen Muskeln wurden auch der M. temporalis und der M. masseter als zur Kaumuskulatur gehörende Muskeln untersucht. Diese sind, wie die mimische Muskulatur, zweifelsfrei abbildbar, jedoch aufgrund der unterschiedlichen Innervation in der Regel nicht von einer Fazialisparese betroffen. Um festzustellen, ob sich mögliche Veränderungen der mimischen Muskulatur bei zentraler Fazialisparese auch sekundär auf die Kaumuskulatur auswirkten, wurde diese im Rahmen der vorliegenden Studie miterfasst.

### **3.6 Untersuchungsablauf**

Jeder Patient wurde im Vorfeld der Untersuchung ausführlich über den Ablauf und die Verwendung der Daten aufgeklärt und bestätigte schriftlich die Teilnahme an der Studie. Der Untersuchungsablauf folgte einem festen Schema: Vor Beginn der Messung wurden die vom Patienten auszuführenden Gesichtsbewegungen vom Untersucher demonstriert und gemeinsam geübt, bis die gewünschte Bewegung vom Patienten ausgeführt werden konnte. Die Ultraschalluntersuchung wurde in der überwiegenden Zahl der Fälle in Rückenlage durchgeführt. Dafür nahm der Patient auf einer Untersuchungsliege Platz und positionierte den Kopf, unterstützt durch stets dasselbe Nackenkissen, in einer entspannten Haltung. Zwölf Patienten, welche aufgrund ihres erlittenen Schlaganfalls auf einen Rollstuhl angewiesen waren und trotz Hilfestellung nicht in der Lage waren auf der Untersuchungsliege Platz zu nehmen bzw. während der Untersuchung in dieser liegenden Position zu verweilen, wurden im Sitzen untersucht. Der Untersucher saß auf der linken Seite der Untersuchungsliege und konnte so mit der rechten Hand die Ultraschallsonde bedienen. Die Gesichtsmuskeln wurden in einer zuvor festgelegten Reihenfolge und definierten Schallebene abgebildet.

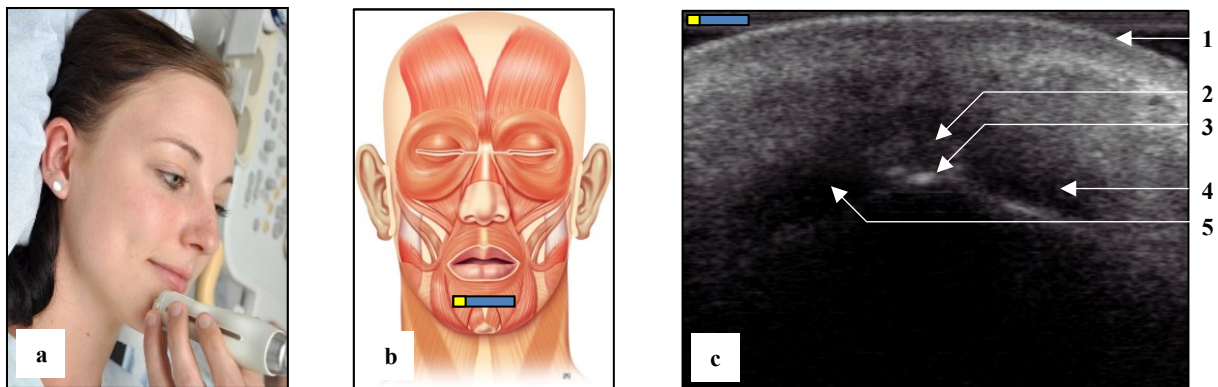
Begonnen wurde mit den Mm. mentales, welche sich nahe der vertikalen Gesichtsmittellinie befinden und aufgrund dessen in einer Schnittebene abgebildet werden können. Alle weiteren Gesichtsmuskeln wurden seitengetrennt untersucht, beginnend mit der linken Gesichtseite. Entsprechend der Position des Schallkopfes wurde die Markerposition am Ultraschallgerät angepasst, sodass im Nachhinein nachvollzogen werden konnte, welcher Muskel Gegenstand der entsprechenden Untersuchung war. Es folgten der M. depressor anguli oris und der M. depressor labii inferioris, welche jeweils seitengetrennt in einer gemeinsamen Schallebene dargestellt werden konnten. Anschließend wurden der M. zygomaticus major, der M. frontalis, der M. temporalis, der M. orbicularis oculi, der M. masseter und der M. orbicularis oris in dieser Reihenfolge sonografiert. Alle erwähnten Muskeln wurden sowohl in Ruhe als auch in maximaler Kontraktion untersucht. Neben Standbildern wurden zu diesem Zweck auch Videosequenzen jedes einzelnen Muskels aufgenommen, während der Patient zwei Mal den Muskel kontrahieren und wieder entspannen sollte. Dazu wurden vom Patienten die zuvor geübten Gesichtsbewegungen ausgeführt. So konnten im Nachhinein die Gesichtsmuskeln im gewünschten Zustand für die Auswertung betrachtet und ihre Kontraktilität beurteilt werden. Im Falle einer schwierigen Identifikation eines Muskels konnte dies durch entsprechende Muskelkontraktion erleichtert werden. Nur in den seltensten Fällen konnte trotz maximaler Kontraktion keine Bewegung bzw. Vergrößerung des Muskels im Ultraschall beobachtet werden. Besonders bei älteren und/oder adipösen Patienten war die Muskulatur stärker von



Fett- und Bindegewebe durchzogen, was zur Folge hatte, dass sich diese echoreicher darstellte und somit schwieriger zu identifizieren war (Sauer 2014). Im Folgenden soll die sonografische Abbildung der einzelnen Gesichtsmuskeln im Detail beschrieben werden. Dafür wurde die „Anleitung zur Sonografie der mimischen Muskulatur“ (Sauer 2014) als Orientierung genutzt.

### **M. mentalis**

Die Mm. mentales beider Gesichtsseiten konnten wie bereits erwähnt, im Gegensatz zu allen anderen gemessenen Muskeln, in einer Schallebene dargestellt werden und mussten nicht seitengetrennt untersucht werden (vgl. Abb. 3.1). Dazu wurde der Schallkopf transversal und senkrecht auf Höhe der Protuberantia mentalis aufgesetzt und parallel in Richtung Unterlippe verschoben, bis sich die Mm. mentales in ihrer größten Ausdehnung zeigten. Leitstruktur bildete das Grenzecho der Mandibula mit entsprechendem Schallschatten. Die Mm. mentales zeigten sich echoarm und meist symmetrisch in der Subkutis. Zwischen beiden Muskelbäuchen präsentierte sich ein echoreicher, intermentaler Fettkörper. In Kontraktion, durch ein Zusammenpressen der Lippen, vergrößerten sich die Mm. mentales meist sichtbar.



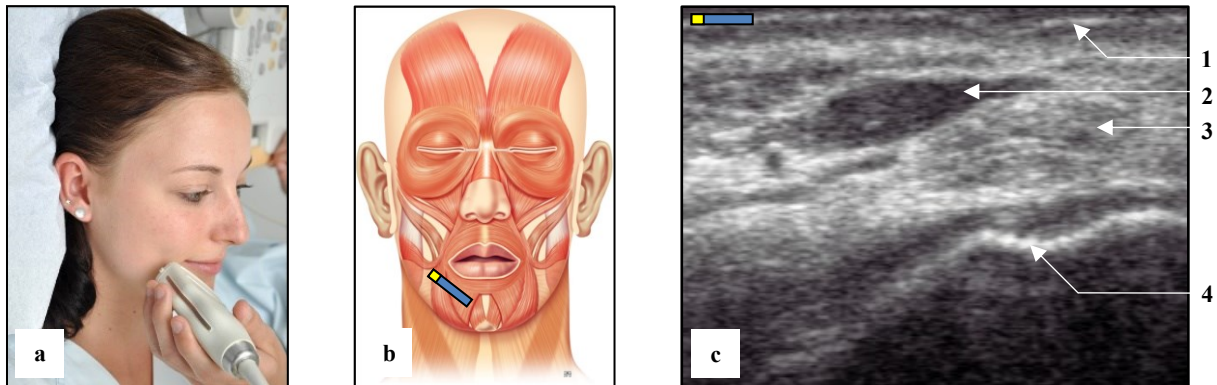
**Abb. 3.1: Sonografie des M. mentalis**

**a** Foto, Schallkopfhaltung bei der Sonografie der Mm. mentales. **b** Schemabild der mimischen Muskulatur mit Position des Markers über der Protuberantia mentalis. **c** sonografisches Bild der Mm. mentales in Ruhe: Hautoberfläche (1), intermentaler Fettkörper (2), Grenzecho der Mandibula (3), M. mentalis links (4), M. mentalis rechts (5). **a** und **b** aus (Sauer 2014).

### **M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris**

Der Schallkopf wurde zur Darstellung dieser beiden Muskeln unterhalb des Mundwinkels parallel zum Mandibula-Rand aufgesetzt (vgl. Abb. 3.2). Durch Verschieben des Schallkopfes nach kranial erschienen als Leitstruktur die treppenförmig angeordneten Alveolar-Fortsätze im Bild. Der M. depressor anguli oris stellte sich echoarm dar und ließ sich gut vom umliegenden Gewebe abgrenzen. Der M. depressor labii inferioris hingegen zeigte sich echoreicher und weniger form-konstant. Er lag medial des M. depressor anguli oris. Durch ein Hinunterziehen

der Mundwinkel („traurig schauen“) konnte die Kontraktion der Muskeln bewirkt werden, welche zu einer meist deutlichen Verdickung, besonders des M. depressor anguli oris führte.

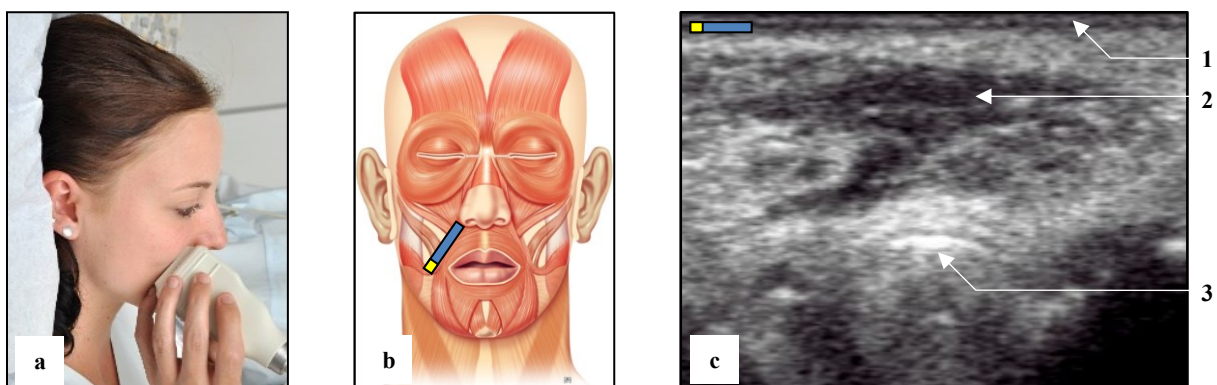


**Abb. 3.2: Sonografie des M. depressor anguli oris und des M. depressor labii inferioris**

**a** Foto, Schallkopfhaltung bei der Sonografie des M. depressor anguli oris und des M. depressor labii inferioris. **b** Schemabild der mimischen Muskulatur mit Position des Markers über dem M. depressor anguli oris und des M. depressor labii inferioris. **c** sonografisches Bild des M. depressor anguli oris und des M. depressor labii inferioris in Ruhe: Hautoberfläche (1), M. depressor anguli oris (2), M. depressor labii inferioris (3), Grenzecho der Alveolarfortsätze (4). **a** und **b** aus (Sauer 2014).

### **M. zygomaticus major**

Der M. zygomaticus major stellte sich im sonografischen Bild als herzförmige Struktur dar. Um diesen abzubilden musste der Schallkopf senkrecht auf die Nasolabial-Falte aufgesetzt und nach Identifikation der Maxilla leicht nach kranial verschoben werden (vgl. Abb. 3.3). Meist konnte der M. zygomaticus major so direkt oberhalb des stark echoreichen Caninus lokalisiert werden und zeigte sich als echoarme Struktur in der Subkutis. Eine erleichterte Identifikation des M. zygomaticus major war in Kontraktion möglich. Diese konnte durch ein Lächeln des Patienten ausgelöst werden und führte in der Regel zu einer deutlichen Vergrößerung der Muskelfläche.

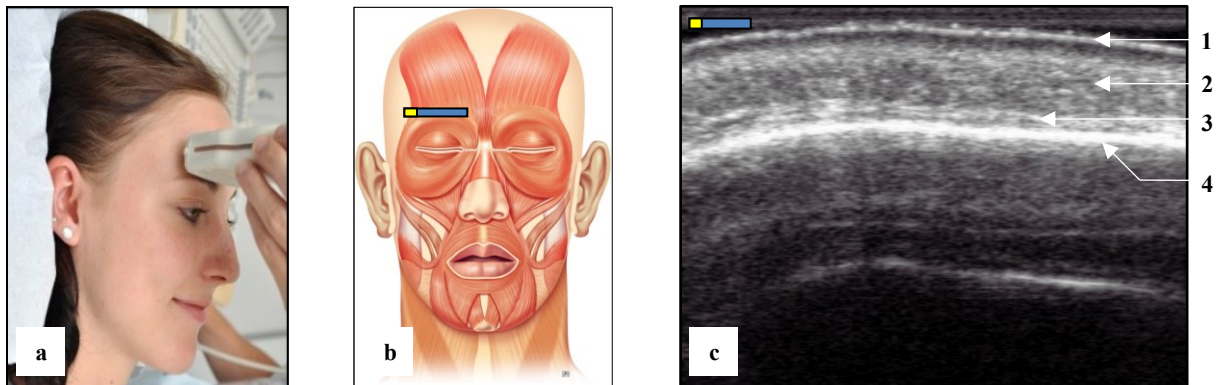


**Abb. 3.3: Sonografie des M. zygomaticus major**

**a** Foto, Schallkopfhaltung bei der Sonografie des M. zygomaticus major. **b** Schemabild der mimischen Muskulatur mit Position des Markers über dem M. zygomaticus major. **c** sonografisches Bild des M. zygomaticus major in Ruhe. Hautoberfläche (1), M. zygomaticus major (2), Grenzechos des Caninus (3). **a** und **b** aus (Sauer 2014).

### **M. frontalis**

Als leicht darstellbar und sehr gut abgrenzbar erwies sich der M. frontalis. Dieser war etwa 2 cm oberhalb des Orbita-Randes abzubilden. Der Schallkopf wurde dazu senkrecht zur Hautoberfläche und in einer axialen Linie zur Pupille aufgesetzt (vgl. Abb. 3.4). Der M. frontalis stellte sich als echoarme Struktur unterhalb der Subkutis dar. Darunter zeigte sich ebenfalls echoarm der subaponeurotische Verschiebespalt und das stark echoreiche Os frontale. Um eine Muskelkontraktion auszulösen, wurden die Patienten gebeten, die Augenbrauen hoch zu ziehen. Dies führte zu einer starken Vergrößerung des Muskelquerschnittes.

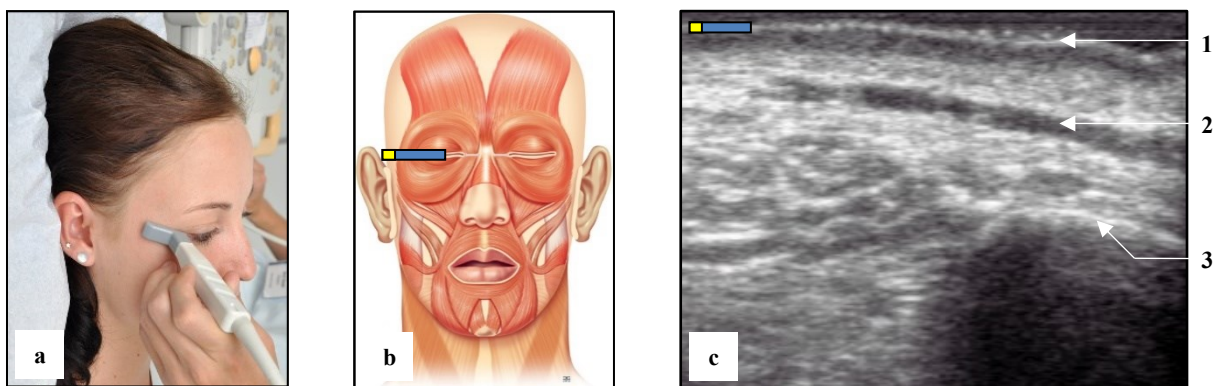


**Abb. 3.4: Sonografie des M. frontalis**

**a** Foto, Schallkopfhaltung bei der Sonografie des M. frontalis. **b** Schemabild der mimischen Muskulatur mit Position des Markers über dem M. frontalis. **c** sonografisches Bild des M. frontalis in Ruhe. Hautoberfläche (1), M. frontalis rechts (2), subaponeurotischer Verschiebespalt (3), Os frontale (4). **a** und **b** aus (Sauer 2014).

### **M. orbicularis oculi**

Der M. orbicularis oculi zeigte sich als sehr schmaler Muskel oberhalb des Orbita-Randes. Zur Abbildung des Muskels wurde der Schallkopf auf Höhe der Pupillenebene oberhalb des Proc. frontalis des Os zygomaticum aufgesetzt (vgl. Abb. 3.5).



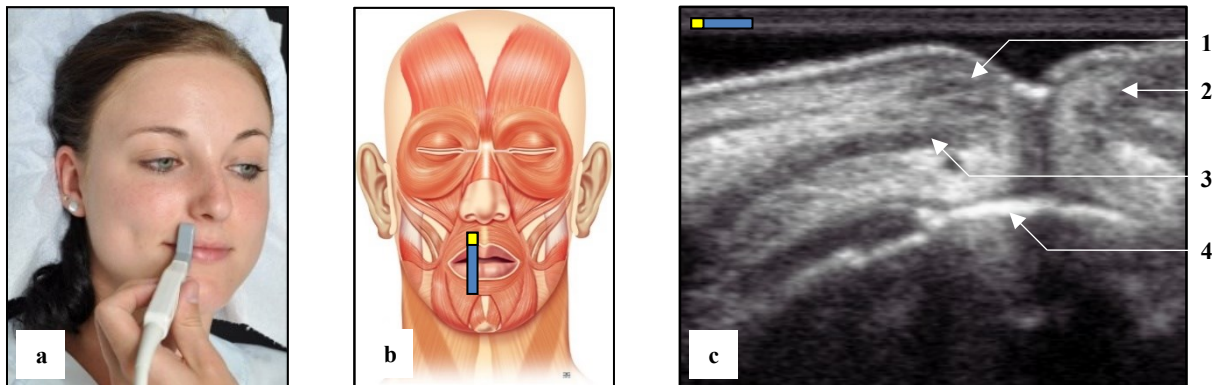
**Abb. 3.5: Sonografie des M. orbicularis oculi**

**a** Foto, Schallkopfhaltung bei der Sonografie des M. orbicularis oculi. **b** Schemabild der mimischen Muskulatur mit Position des Markers über dem M. orbicularis oculi. **c** sonografisches Bild des M. orbicularis oculi in Ruhe. Hautoberfläche (1), Anschnitt des M. orbicularis oculi (2), Grenzecho der Orbita (3). **a** und **b** aus (Sauer 2014).

Das deutliche Grenzecho des Margo lateralis der Orbita unterhalb des M. frontalis bildete die Leitstruktur. Durch kräftiges Zusammenkneifen der Augen bewegte sich der Muskel über den echoreichen Orbita-Rand.

### **M. orbicularis oris**

Die sonografische Darstellung des M. orbicularis oris wurde an den Schluss der Untersuchung gestellt, da dafür der direkte Kontakt des Ultraschallgels mit den Lippen nötig war. Der Schallkopf wurde parallel zur Sagittalebene links bzw. rechts des Philtrums auf Höhe des jeweiligen Nasenloches aufgesetzt. Es zeigte sich ein kräftiges Grenzecho des Dens incisivus als Leitstruktur (vgl. Abb. 3.6). Durch ein langsames Zusammenpressen der Lippen konnte eine deutliche Verdickung des Muskels hervorgerufen werden.



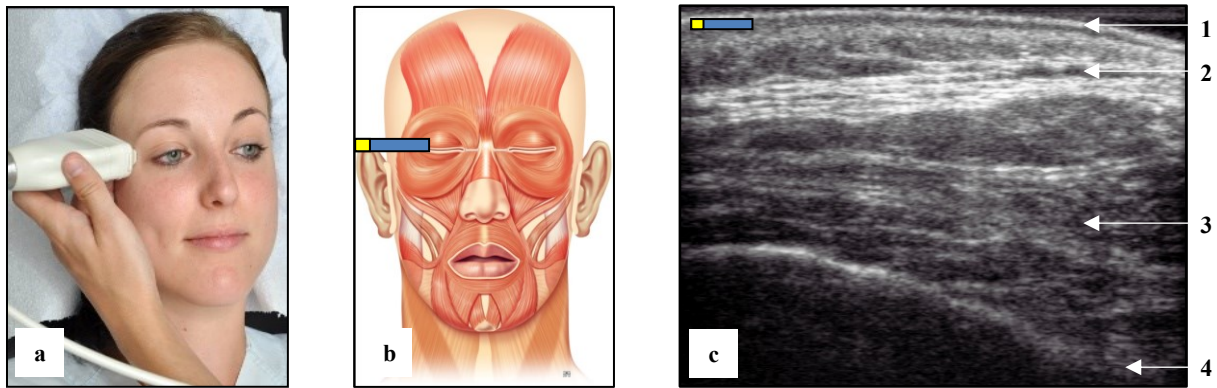
**Abb. 3.6: Sonografie des M. orbicularis oris**

**a** Foto, Schallkopfhaltung bei der Sonografie des M. orbicularis oris. **b** Schemabild der mimischen Muskulatur mit Position des Markers über dem M. orbicularis oris. **c** sonografisches Bild des M. orbicularis oris in Ruhe. Oberlippe (1), Unterlippe (2), M. orbicularis oris (3), Grenzecho des Dens incisivus (4). **a** und **b** aus (Sauer 2014).

### **M. temporalis**

Der Schallkopf wurde auf die Schläfe aufgesetzt und leicht parallel nach kaudal verschoben, um die größte Ausdehnung des M. temporalis abzubilden. Als anatomische Landmarken dienten der echoreiche Orbita-Rand und das Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale in der Fossa infratemporalis (vgl. Abb. 3.7). Durch ein Aufeinanderpressen der Ober- und Unterkiefer konnte die Kontraktion einzelner Muskelanteile hervorgerufen werden. Da der M. temporalis von vielen Faszien durchzogen ist, kontrahierte er dabei nicht vollständig.



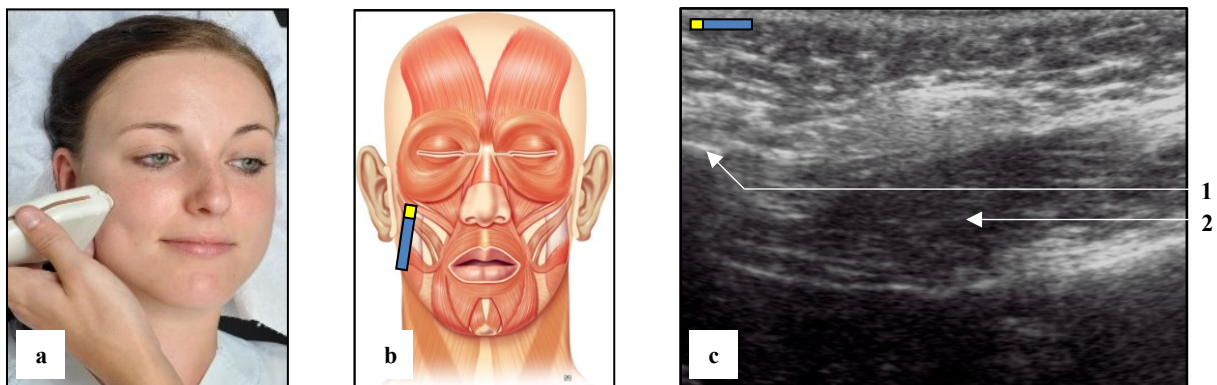


**Abb. 3.7: Sonografie des M. temporalis**

**a** Foto, Schallkopfhaltung bei der Sonografie des M. temporalis. **b** Schemabild der mimischen Muskulatur mit Position des Markers über dem M. temporalis. **c** sonografisches Bild des M. temporalis in Ruhe. Hautoberfläche (1), Anschnitt des M. orbicularis oculi (2), Anschnitt des M. temporalis (3), Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale (4). **a** und **b** aus (Sauer 2014).

### M. masseter

Der M. masseter ließ sich leicht zwischen dem Angulus mandibulae und dem medialen Drittel des Arcus zygomaticus auffinden. Es zeigte sich als Leitstruktur das Grenzecho der Facies lateralis des Os zygomaticum (vgl. Abb. 3.8). Der M. masseter lief spitz auf den Arcus zygomaticus zu und kontrahierte deutlich bei kräftigem Aufeinanderpressen der Zähne.



**Abb. 3.8: Sonografie des M. masseter**

**a** Foto, Schallkopfhaltung bei der Sonografie des M. masseter. **b** Schemabild der mimischen Muskulatur mit Position des Markers über dem M. masseter. **c** sonografisches Bild des M. masseter in Ruhe. Grenzecho der Facies lateralis des Os zygomaticum (1), M. masseter (2). **a** und **b** aus (Sauer 2014).

### 3.7 Auswertungssoftware Sante DICOM Editor 3D

Nach Abschluss der Datenerhebung musste ein geeignetes Auswertungsprogramm gewählt werden, welches in der Lage sein sollte, Ultraschallbilder und -Videosequenzen im DICOM-Format interpretieren und vermessen zu können. Um nicht nur DICOM-Formate des in dieser Studie genutzten Toshiba-Ultraschallgerätes auswerten zu können, sondern auch Datensätze anderer Ultraschallgeräte, die vom Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena

verwendet werden, folgte eine ausgedehnte Testphase verschiedener Programme. Zunächst wurden Testbilder und Videosequenzen unterschiedlicher, in Tab. 3.1 aufgeführter Ultraschallgeräte im DICOM-Format aufgenommen.

**Tab. 3.1 Übersicht der zur Auswertung mit Sante DICOM Editor 3D getesteten Ultraschallgeräte**

Sonografiegerät	Hersteller	Baujahr	Schallkopf
Toshiba Xario SSA-660A	Toshiba, Japan	2005	PTL 1204AT 12MHz
Philips HD11 XE	Philips, Niederlande	2008	L12-3
eZono 4000	eZono, Deutschland	2014	L12-3 NGS

Die DICOM-Dateien dieser Hersteller wurden im Anschluss genutzt, um verschiedene Programme auf ihre Anwendbarkeit zur Darstellung und Vermessung der Daten zu testen. Diese setzte folgende Programm-Funktionen voraus: Anpassung der Helligkeit und des Kontrasts, Bestimmung der „Region of Interest“ (ROI), die korrekte Ausgabe von Flächen- und Längenmaßen, die Bestimmung des Grauwertes und der Standardabweichung, sowie eine Zoom-Funktion zur genaueren Vermessung. Folgende Programme wurden in diesem Rahmen getestet: Sante DICOM Viewer (Santesoft, Griechenland), MITK 2014.03 (Deutschland), QLAB (Figure 53, USA), GIMP 2.9 (USA), Sonowin (Meso, Deutschland), Matlab (MathWorks, USA), EzDICOM (Chris Rorden, USA), ImageJ (NIH, USA), Aeskulap-DICOM Viewer (Free Software Foundation, USA), DICOM Explorer (Andy Liu, sourceforge), Ginkgo CADs (GNU Lesser General Public License), openDICOM.net (Albert Gndt, sourceforge), Kradview (David Santo Orcero, GNU General Public License version 2.0), open DICOM Viewer (Abdul Wahab Sultán Regalado und Javier Cámara Pérez, GNU Library or Lesser General Public License version 3.0), MITO (Health lab, Italien) und MicroDicom DICOM viewer (MicroDicom, Bulgarien). Lediglich der Sante DICOM Viewer der Firma Santesoft war in der Lage, neben den Testbildern auch die Videosequenzen in geeigneter Form auszulesen und die DICOM-Dateien nicht nur darzustellen, sondern auch zu vermessen. Durch die gute Zusammenarbeit mit Santesoft konnte das Programm in einigen Details so optimiert werden, dass ein uneingeschränkter Einsatz möglich war. Aufgrund der einfachen Handhabung und der Anwendbarkeit auf alle vom Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena genutzten Ultraschallgeräte, wurde durch die Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde eine Site-Lizenz für die verwandte, durch einige Funktionen ergänzte Software Sante DICOM Editor 3D für einen großflächigen Einsatz erworben. Somit konnte die Software auch durch andere Doktoranden im Rahmen der Auswertung genutzt werden.

### **3.8 Segmentierung**

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Segmentierung der Muskulatur und die dafür notwendige Helligkeits- und Kontrasteinstellung im Programm Sante DICOM Editor 3D beschrieben. Die Segmentierung erfolgte nach einem festgelegten Ablauf, um eine möglichst genaue und reproduzierbare Auswertung zu gewährleisten.

Zunächst wurden die Ultraschallbilder und -videos eines Patienten in das Auswertungsprogramm geladen. Pro Muskel eines jeden Patienten wurden drei Ultraschall-Aufnahmen pro Gesichtsseite angefertigt: ein Bild des Muskels in Ruhe, ein Bild des Muskels in Kontraktion und eine Videosequenz, die den Muskel abwechselnd im Ruhezustand sowie in maximaler Kontraktion zeigte. Für die Auswertung konnten somit die zwei geeignetsten Aufnahmen des Muskels, entweder als Einzelbild oder als Ausschnitt des Videos, jeweils im Ruhezustand und zum Zeitpunkt der maximalen Kontraktion gewählt werden. Dafür wurden die Einzelbilder und Videos begutachtet und auf ihre Qualität geprüft. Für die Auswertung wurden ausschließlich Aufnahmen gewählt, welche den Muskel vollständig, ohne Artefakte darstellten. Darüber hinaus wurde darauf geachtet, dass definierte Leitstrukturen zu erkennen waren, um sicher zu stellen, dass der Muskel zuvor korrekt aufgenommen wurde.

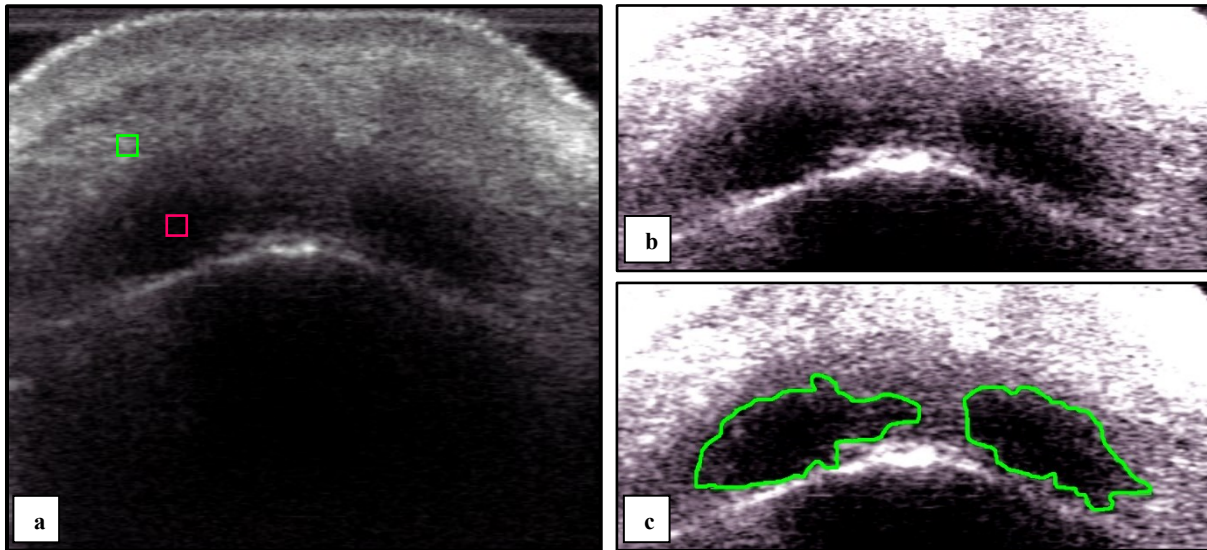
#### **3.8.1 Helligkeits- und Kontrasteinstellung**

Zur eindeutigen Abgrenzung der Muskeln gegen das umliegende Gewebe musste die Helligkeit und der Kontrast des Bildes für die Auswertung entsprechend angepasst werden. Eine einheitliche Einstellung für jeden der neun untersuchten Muskeln konnte dabei nicht gefunden werden, da sich deren Echogenität teilweise stark unterschied. Der überwiegende Teil der Muskeln konnte mithilfe der Helligkeits- und Kontrastanpassung ohne Probleme vermessen werden. Besonders für den M. mentalis war dies allerdings nur erschwert möglich. Deshalb wurde, nach intensiver Testphase, für schwer abgrenzbare Muskeln folgendes Vorgehen für die Helligkeits- und Kontrasteinstellung gewählt:

Mithilfe zweier Kontrollflächen (hell und dunkel) wurde die Helligkeit und der Kontrast der jeweiligen Aufnahme angepasst. Zunächst wurden mit Hilfe des „rectangle“ Werkzeugs zwei ca. 1,5 mm<sup>2</sup> große Quadrate eingezeichnet. Ein Quadrat wurde direkt in die vermutete Muskelregion gelegt (dunkles Quadrat), das zweite Quadrat (helles Quadrat) in ähnlicher Eindringtiefe, nahe, aber sicher außerhalb der vermuteten Muskelfläche. Die verwendeten Flächen wurden mit einer Größe von 1/8 cm x 1/8 cm nicht zu groß gewählt, um eine Mittelung der Grauwerte über verschieden helle Bereiche innerhalb eines Quadrates zu vermeiden. Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass die Flächen in einem Bereich lagen, der eine gute Ankopplung zwischen Schallkopf und Haut aufwies und keine Ultraschallartefakte enthielt.

Aus den mittleren Grauwerten des hellen Quadrats (H) und des dunklen Quadrats (D) wurde mittels Excel das Level (Helligkeitswert) und das Window (Kontrast) für das zu segmentierende Bild berechnet. Dabei entsprach das Level dem Mittelwert  $\frac{1}{2} \cdot (H + D)$  und Window der Differenz  $H - D$ . Die errechneten Werte für Level und Window wurden als Preset in „Level-Window Presets“ festgelegt.

Somit war eine auf den jeweiligen Muskel angepasste, gut reproduzierbare Helligkeits- und Kontrasteinstellung zur besseren Segmentierung möglich. Diese Methode wurde aufgrund des größeren zeitlichen Aufwandes nur für schlecht gegen das umgebende Binde- und Fettgewebe abgrenzbare Muskeln angewendet, insbesondere für den M. mentalis, wie in Abb. 3.9 dargestellt.



**Abb. 3.9: Helligkeits- und Kontrasteinstellung am Beispiel des M. mentalis**

Bild a zeigt das unbearbeitete Ultraschallbild mit eingezeichneten Quadraten H (grün) und D (rot) zur optimalen Anpassung der Helligkeit und des Kontrasts. Bild b zeigt einen Ausschnitt desselben Ultraschallbildes nach erfolgter Anpassung. In Bild c wurden die Muskelgrenzen eingezeichnet.

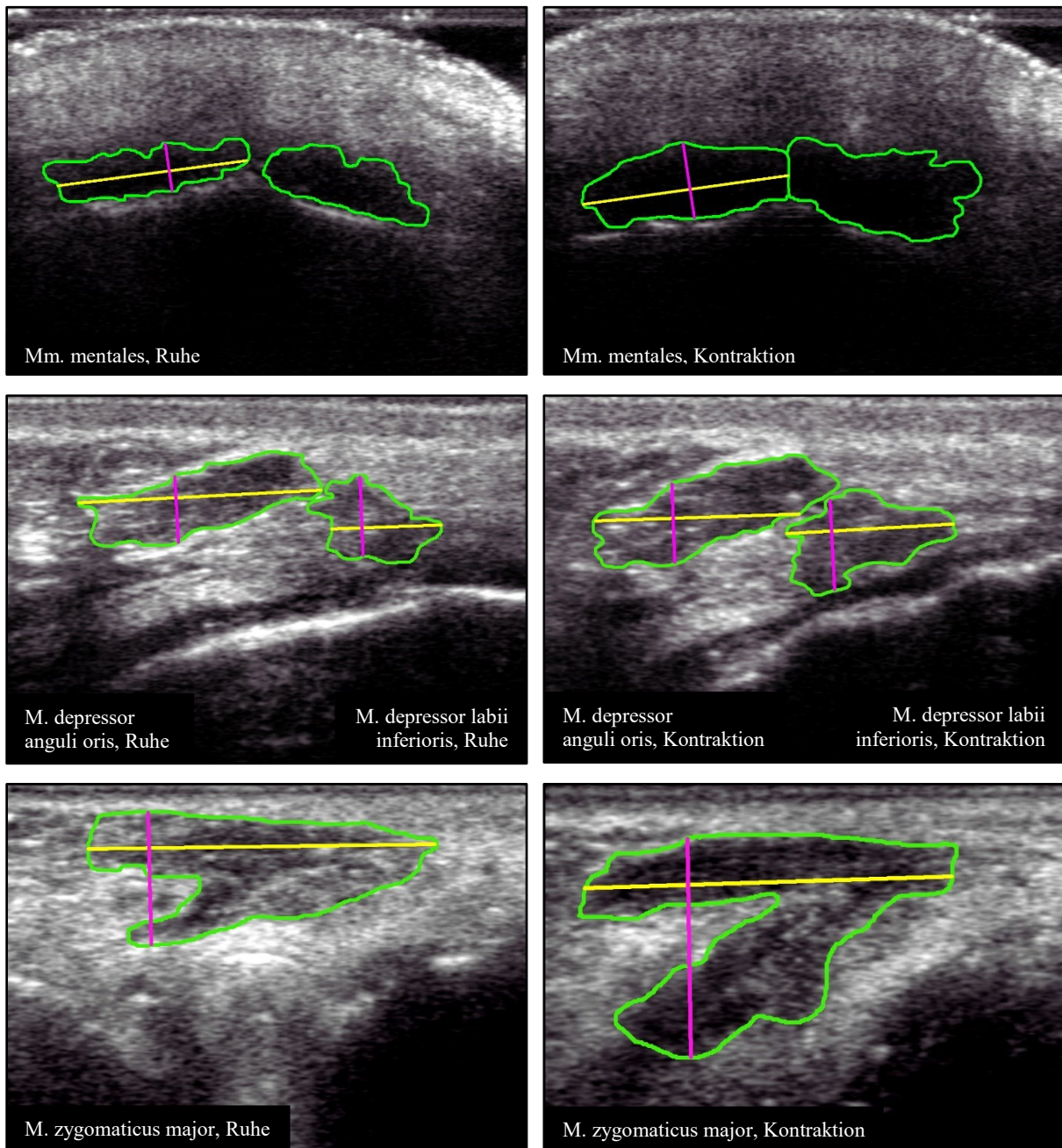
### 3.8.2 Quantifizierung der Muskelgrößen

Nach erfolgter Helligkeits- und Kontrasteinstellung konnte die eigentliche Quantifizierung der Muskelgrößen durchgeführt werden. Die Vermessung beinhaltete die Bestimmung der „region of interest“ (ROI) mit Hilfe des „free hand“ Werkzeugs sowie die Längenmessung mittels „measure distance“ Werkzeug. Der M. mentalis, der M. depressor anguli oris, der M. depressor labii inferioris und der M. zygomaticus major ließen sich vollständig im Ultraschallbild darstellen, sodass die Bestimmung der Muskelfläche (A in mm<sup>2</sup>) sowie des maximalen Längs- und Querdurchmessers (LDM und QDM in mm) möglich war. Der M. frontalis, der M. orbicularis oculi, der M. temporalis, der M. masseter und der M. orbicularis oris hingegen konnten nicht vollständig in einer Schallebene abgebildet werden. Aufgrund dessen wurde M.



## Methodik

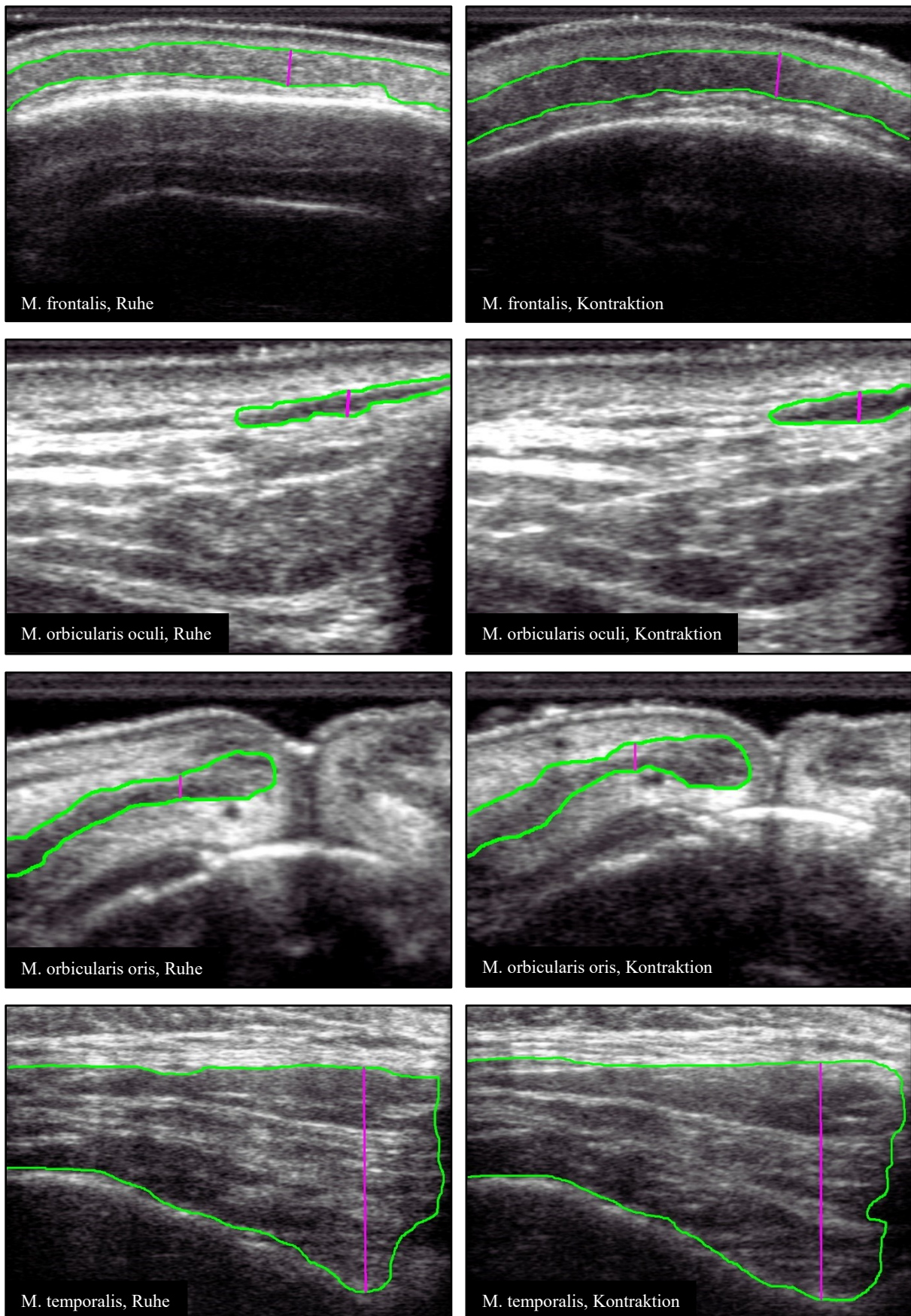
Sauer folgend (Sauer 2014) für diese Muskeln lediglich der Querdurchmesser (QDM), also die größte Muskelausdehnung senkrecht zum Faserverlauf, quantifiziert. Abb. 3.10 - Abb. 3.12 zeigen die Segmentierung aller gemessenen Gesichtsmuskeln mit dem Auswertungsprogramm Sante DICOM Editor 3D anhand ausgewählter Beispiele.



**Abb. 3.10: Quantifizierung der Muskelgrößen in Ruhe und Kontraktion**

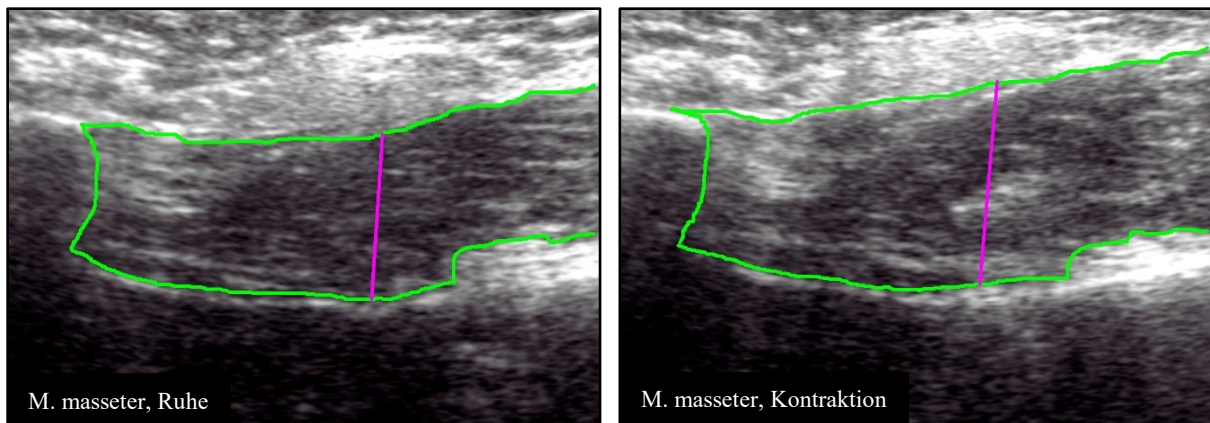
Eingezeichnet sind die Muskelgrenzen (grün), Längsdurchmesser (gelb) und Querdurchmesser (magenta).

## Methodik



**Abb. 3.11: Quantifizierung der Muskelquerdurchmesser in Ruhe und Kontraktion**  
Eingezeichnet sind die Muskelgrenzen (grün), Längsdurchmesser (gelb) und Querdurchmesser (magenta).





**Abb. 3.12: Quantifizierung der Muskelquerdurchmesser in Ruhe und Kontraktion**

Eingezeichnet sind die Muskelgrenzen (grün), Längsdurchmesser (gelb) und Querdurchmesser (magenta).

### 3.9 Statistik

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine klinisch-experimentelle Studie. Zur Sammlung und Auswertung der erhobenen Daten wurden Excel 2016 (Microsoft, USA) und die Statistiksoftware SPSS Statistics 22.0 (IBM, USA) herangezogen. Als grafisches Hilfsmittel zur Verteilungsanalyse diente der Boxplot, welcher eine Normalverteilung aller Daten zeigte. Somit konnten die durchgeführten statistischen Tests mittels SPSS entsprechend des normalverteilten Patientenkollektives gewählt werden.

Zunächst wurden die Mittelwerte der absoluten Muskelgrößen und die jeweilige Standardabweichung geschlechtsspezifisch für die kontralaterale Gesichtsseite und die paretische Gesichtsseite in Ruhe und in maximaler Kontraktion ermittelt. Mit Hilfe eines T-Tests für unabhängige Stichproben wurden diese Mittelwerte auf signifikante Größenunterschiede zwischen Männern und Frauen untersucht. Für p – Werte kleiner als 0,05 kann von signifikanten Größenunterschieden der Geschlechter ausgegangen werden. Das gleiche Vorgehen wurde für den Vergleich der Muskeldynamik von Frauen und Männern angewendet. Die Muskeldynamik beschreibt die Änderung der Größe eines Muskels durch dessen Kontraktion und berechnet sich aus der Differenz der Muskelgrößen in Ruhe und Kontraktion wie folgt:  $100 \cdot (\text{Kontraktion} - \text{Ruhe}) / \text{Ruhe}$ . Ein positiver Wert beschreibt eine Größenzunahme in Kontraktion, ein negativer Wert hingegen eine Größenabnahme. Um zu untersuchen, ob sich die Größe der Muskulatur bei maximaler Kontraktion signifikant von der Muskelgröße in Ruhe unterschied, wurden die relativen Werte mittels T-Test bei einer Stichprobe gegen den Testwert Null geprüft. Auch hier entspricht ein Wert kleiner als 0,05 einem signifikanten Ergebnis. Zum Vergleich der Muskelgrößen der kontralateralen mit der paretischen Gesichtsseite wurde ein T-Test für verbundene Stichproben angewendet.

Um die ermittelten Muskelgrößen der Patienten mit bereits bekannten Referenzwerten (Volk et al. 2014a) vergleichen zu können, ist eine z-Transformation zur Anwendung gekommen. Diese ermöglicht es, Stichproben von unterschiedlichen Patientenkollektiven und mit ungleicher Stichprobengröße vergleichbar zu machen, indem die Messwerte  $x_i$  in z-Werte umgerechnet werden. Die z-Werte werden nun nicht mehr in ihrer originalen Maßeinheit gemessen, sondern sind Vielfaches der Standardabweichung SD der Referenzstichprobe mit Mittelwert  $\bar{x}$ . Beide Stichproben weisen somit eine vergleichbare Verteilung auf mit einem Mittelwert von 0,0 und einer Standardabweichung von 1,0. Die zur z-Transformation verwendete Formel lautet:  $z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{SD}$ . Ergeben sich für den z-Score positive Werte, so ist die Muskelgröße des Patienten größer als die der Referenz. Negative z-Werte hingegen weisen auf eine kleinere Muskelgröße der Patienten hin.

Mithilfe von Boxplots wurden die ermittelten z-Werte der Patientendaten grafisch im Verhältnis zu den Referenzwerten dargestellt. Die Box ist durch ein oberes und ein unteres Quartil begrenzt. Innerhalb der Box befinden sich die mittleren 50% der Daten, wobei der Medianwert mit einem Querstrich gekennzeichnet ist. Die Whisker umfassen Werte im Bereich des 1,5 fachen Interquartilsabstandes, alle Datenpunkte außerhalb der Whisker markieren sogenannte Ausreißer. Somit eignet sich die grafische Darstellung mittels Boxplot sehr gut zur Visualisierung der Datenverteilung und dem Vergleich von Stichproben.

Neben dem Vergleich der Patientendaten mit Referenzwerten wurden die ermittelten Muskelgrößen auf mögliche Korrelationen mit den biometrischen Patientenmesswerten hin untersucht. Dazu diente die Bestimmung des Korrelationskoeffizienten (r) nach Pearson. Korreliert wurden die jeweiligen Muskelgrößen der kontralateralen und paretischen Gesichtsseite in Ruhe und in Kontraktion mit dem Alter, der Körpergröße, dem Körpergewicht, dem BMI und der Paresedauer. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson ist hierbei ein dimensionsloses Maß für einen linearen Zusammenhang zweier Variablen. Er liegt zwischen +1 und -1, wobei bei einem Wert von |1| ein vollständig positiver bzw. negativer Zusammenhang zwischen den Merkmalen besteht, für einen Wert von 0 hingegen kein Zusammenhang erkennbar ist. Zur Beschreibung der Stärke des Zusammenhangs wurde die folgende gebräuchliche Einteilung verwendet:  $0 < |r| \leq 0,2$  sehr geringe Korrelation,  $0,2 < |r| \leq 0,5$  geringe Korrelation,  $0,5 < |r| \leq 0,7$  mittlere Korrelation,  $0,7 < |r| \leq 0,9$  hohe Korrelation.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Patientencharakteristika

Im Rahmen der Datenerhebung wurden 54 Patienten (Basisdaten in Tab. 4.1) untersucht, die aufgrund eines Schlaganfalls an einer zentralen Fazialisparese litten. Der Zeitpunkt der ersten Sonografie nach Schlaganfall lag im Mittel bei 35 Tagen, variierte jedoch stark zwischen 13 und 113 Tagen. Bei 13 der 54 untersuchten Patienten wurde im Verlauf eine zweite Sonografie durchgeführt. Mit 39 von 54 Patienten war die Mehrheit des Patientenkollektives männlich. Die Altersspannweite zeigte sich mit 57 Jahren sehr groß, der mediane Altersschnitt lag bei 63 Jahren. Ursache des Apoplex war in 50 Fällen ein Infarkt, nur 4 der Patienten wiesen eine Hirnblutung auf. Die Schwere der zentralen Fazialisparese wurde unter anderem zum Zeitpunkt der Aufnahme mittels der House-Brackmann Skala eingestuft. Hier zeigten 40 der 54 Patienten mit Grad III eine moderate Dysfunktion der mimischen Muskulatur.

**Tab. 4.1: Basisdaten der 54 Patienten**

Parameter	absolute Anzahl	relative Anzahl (%)
<b>Geschlecht</b>		
Frauen	15	27,8
Männer	39	72,2
<b>Ätiologie der Fazialisparese</b>		
Infarkt	50	92,6
Mediainfarkt	32	59,3
Ponsinfarkt	9	16,7
Sonstige	9	16,7
Blutung	4	7,4
Stammganglien	4	7,4
<b>Anzahl der Messungen pro Patient</b>		
1	54	100,0
2	13	24,1
3	1	1,9
<b>House-Brackmann</b>		
Grad II	7	13,0
Grad III	40	74,1
Grad IV	6	11,1
unbekannt	1	1,9
	<b>Mittelwert ± SD</b>	<b>Spannweite (Median)</b>
Alter (Jahre)	62 ± 12,7	30 - 87 (63)
Körpergröße (m)	171,9 ± 9,2	150 - 193 (172)
Körpergewicht (kg)	84,7 ± 14,4	54 - 138 (83)
BMI (kg/m²)	28,6 ± 3,9	22 - 43 (28)
Paresedauer (d) bis zur 1. Messung	35,18 ± 17,13	13 - 113 (31)
Paresedauer (d) bis zur 2. Messung	44,23 ± 13,32	32 - 72 (38)
Paresedauer (d) bis zur 3. Messung	54	54 - 54 (54)
Stennert Index (in Ruhe)	0,91 ± 0,73	0 - 2 (1)
Stennert Index (in Kontraktion)	0,93 ± 0,99	0 - 3 (1)

SD = Standardabweichung, BMI = Body-Mass-Index, d = Tage.

## **4.2 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der mimischen Muskulatur**

In Tab. 4.2 - Tab. 4.7 werden die Mittelwerte der Muskelgrößen und der jeweiligen Standardabweichung für die kontralaterale Gesichtsseite und die paretische Gesichtsseite in Ruhe und in Kontraktion sowie die Muskeldynamik dargestellt. Die Werte sind sowohl geschlechtsspezifisch als auch über das Geschlecht gemittelt angegeben. Ebenfalls aufgeführt sind die minimal und maximal gemessenen, geschlechtsspezifischen Extremwerte. Die folgenden Tabellen sollen zum Vergleich der Muskelgrößen beider Geschlechter dienen.

### **4.2.1 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite in Ruhe**

Zunächst werden die Muskelgrößen der kontralateralen, nicht von der zentralen Fazialisparese betroffenen Gesichtsseite betrachtet. Tab. 4.2 beschreibt die geschlechtsspezifischen und gemittelten Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite in Ruhe.

Für den M. mentalis, den M. depressor anguli oris, den M. labii inferioris und den M. zygomaticus major sind neben der Fläche auch der Längs- (LDM) und Querdurchmesser (QDM) angegeben. LDM und QDM dienen bei diesen Muskeln aufgrund der schlechteren Reliabilität und der geringeren klinischen Aussagekraft im Vergleich zu den entsprechenden Muskelflächen (Sauer 2014) nur der Vollständigkeit. Hier und im Folgenden wird deshalb das Hauptaugenmerk auf die Fläche der entsprechenden Muskeln gelegt.

Im Vergleich der Muskelgrößen des weiblichen und männlichen Kollektivs konnten lediglich für die Fläche ( $p = 0,023$ ) und den LDM ( $p < 0,001$ ) des M. depressor anguli oris, sowie den QDM des M. orbicularis oculi ( $p = 0,027$ ) signifikant größere Werte bei Männern festgestellt werden. Alle anderen untersuchten Muskeln wiesen keinen signifikanten Größenunterschied zwischen den Geschlechtern auf.

**Tab. 4.2: Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der kontralateralen Seite in Ruhe**

Muskel	Frauen				Männer				Vergleich (p-Wert)	Gesamt	
	n	MW ± SD	Max	Min	n	MW ± SD	Max	Min		n	MW ± SD
M. mentalis A	15	48,60 ± 14,4	71	20	38	55,59 ± 15,6	100	31	0,143	53	53,61 ± 15,5
M. mentalis LDM	15	12,37 ± 2,5	16,2	8,69	38	13,46 ± 2,1	18	9,6	0,115	53	13,15 ± 2,2
M. mentalis QDM	15	5,46 ± 1,2	7,92	3,8	38	5,47 ± 1,1	8,59	3,2	0,999	53	5,47 ± 1,1
M. d. a. oris A	15	40,30 ± 11,0	63	24	39	50,05 ± 14,6	85	25	<b>0,023</b>	54	47,34 ± 14,3
M. d. a. oris LDM	15	13,71 ± 3,0	18,4	8,01	39	16,95 ± 2,7	21,5	12	<b>&lt;0,001</b>	54	16,05 ± 3,1
M. d. a. oris QDM	15	4,25 ± 1,0	6,66	2,93	39	4,13 ± 0,7	5,4	2,68	0,620	54	4,16 ± 0,8
M. d. l. inf. A	15	31,71 ± 6,9	47	23	39	35,92 ± 10,9	70	20	0,170	54	34,75 ± 10,1
M. d. l. inf. LDM	15	13,03 ± 4,4	25,7	9,5	39	12,66 ± 2,5	18	8,21	0,704	54	12,77 ± 3,1
M. d. l. inf. QDM	15	3,67 ± 0,6	4,68	2,53	39	3,87 ± 0,9	6,01	2,23	0,435	54	3,82 ± 0,9
M. zyg. maj. A	15	97,77 ± 28,1	151	59	39	99,77 ± 31,4	159	35	0,825	54	99,21 ± 30,3
M. zyg. maj. LDM	15	19,62 ± 4,4	26,5	11,8	39	20,51 ± 4,7	34,2	10,8	0,545	54	20,26 ± 4,6
M. zyg. maj. QDM	15	8,50 ± 1,6	11,8	5,7	39	7,66 ± 1,5	12,1	4,48	0,079	54	7,90 ± 1,6
M. frontalis QDM	15	2,59 ± 0,9	4,14	1,14	39	2,23 ± 0,7	4,51	1,03	0,132	54	2,33 ± 0,8
M. orbic. oculi QDM	15	0,86 ± 0,2	1,2	0,56	39	1,01 ± 0,2	1,58	0,48	<b>0,027</b>	54	0,97 ± 0,2
M. orbic. oris QDM	15	2,04 ± 0,5	3,45	1,19	39	2,08 ± 0,5	3,69	1,21	0,780	54	2,07 ± 0,5
M. temporalis QDM	15	18,42 ± 2,0	20,9	13,5	39	18,81 ± 2,2	22,7	11,7	0,557	54	18,70 ± 2,1
M. masseter QDM	15	11,83 ± 3,0	18,7	8,2	38	12,76 ± 2,3	16,9	8,27	0,225	53	12,50 ± 2,5

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [mm<sup>2</sup>], LDM = Längendurchmesser [mm], QDM = Querdurchmesser [mm]. In der Spalte „Vergleich“ werden die MW der Muskelgrößen von Männern und Frauen mittels p-Wert verglichen (fett gedruckt bei statistisch signifikantem Unterschied).

#### 4.2.2 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite in Kontraktion

Für die Muskelgrößen in Kontraktion zeigte sich ebenfalls nur ein geringer Größenunterschied zwischen den Geschlechtern zu Gunsten der Männer. Tab. 4.3 lässt erkennen, dass sich neben der Fläche ( $p = 0,025$ ) und des LDM ( $p = 0,017$ ) des M. depressor anguli oris, auch der LDM des M. mentalis ( $p = 0,015$ ) als signifikant größer gegenüber dem weiblichen Geschlecht erwies.

**Tab. 4.3: Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der kontralateralen Seite in Kontraktion**

Muskel	Frauen				Männer				Vergleich (p-Wert)	Gesamt	
	n	MW ± SD	Max	Min	n	MW ± SD	Max	Min		n	MW ± SD
M. mentalis A	15	62,40 ± 17,6	89	31	38	70,66 ± 17,1	130	39	0,121	53	68,32 ± 17,5
M. mentalis LDM	15	12,00 ± 1,9	15,1	8,12	38	13,35 ± 1,7	16,4	9,32	<b>0,015</b>	53	12,97 ± 1,9
M. mentalis QDM	15	6,78 ± 1,6	9,77	4,37	38	6,62 ± 1,0	9,59	5,1	0,714	53	6,66 ± 1,2
M. d. a. oris A	15	51,49 ± 19,1	87	26	39	66,15 ± 21,3	126	31	<b>0,025</b>	54	62,08 ± 21,5
M. d. a. oris LDM	15	14,94 ± 4,0	25,7	10,1	39	17,88 ± 4,0	28,6	10,8	<b>0,017</b>	54	17,06 ± 4,2
M. d. a. oris QDM	15	4,94 ± 1,3	7,87	2,99	39	5,25 ± 1,1	7,84	2,7	0,390	54	5,17 ± 1,1
M. d. l. inf. A	15	40,09 ± 10,0	54	21	39	45,33 ± 14,1	93	25	0,185	54	43,88 ± 13,2
M. d. l. inf. LDM	15	12,55 ± 2,7	18,2	8,2	39	13,59 ± 2,7	21,5	8,92	0,184	54	13,30 ± 2,7
M. d. l. inf. QDM	15	4,61 ± 1,0	7,18	3,24	39	4,56 ± 1,1	7,91	2,4	0,835	54	4,57 ± 1,1
M. zyg. maj. A	15	133,08 ± 28,8	184	83	39	142,74 ± 31,4	199	68	0,298	54	140,06 ± 30,7
M. zyg. maj. LDM	15	23,16 ± 3,8	29,5	16,7	39	24,42 ± 4,0	32,8	14,7	0,302	54	24,07 ± 3,9
M. zyg. maj. QDM	15	9,94 ± 1,9	13,8	7,19	39	9,20 ± 1,9	13	4,23	0,227	54	9,40 ± 1,9
M. frontalis QDM	15	3,84 ± 1,3	6,79	2,4	39	3,63 ± 0,9	5,47	1,73	0,518	54	3,69 ± 1,0
M. orbic. oculi QDM	14	0,95 ± 0,2	1,53	0,64	39	1,00 ± 0,3	1,63	0,46	0,510	53	0,99 ± 0,3
M. orbic. oris QDM	15	3,08 ± 0,8	4,52	2,04	39	3,13 ± 0,8	5,24	2,01	0,809	54	3,11 ± 0,8
M. temporalis QDM	15	19,59 ± 1,8	21,7	14,9	39	20,31 ± 1,8	24,1	15,3	0,190	54	20,11 ± 1,8
M. masseter QDM	15	13,52 ± 2,8	20,4	10,5	38	14,50 ± 2,4	20,2	10,4	0,192	53	14,22 ± 2,5

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [mm<sup>2</sup>], LDM = Längendurchmesser [mm], QDM = Querdurchmesser [mm]. In der Spalte „Vergleich“ werden die MW der Muskelgrößen von Männern und Frauen mittels p-Wert verglichen (fett gedruckt bei statistisch signifikantem Unterschied).

#### 4.2.3 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite in Ruhe

Vor dem direkten Vergleich der paretischen und kontralateralen Gesichtsseite soll nun zunächst die paretische Seite geschlechtsspezifisch analysiert werden. Die Mittelwerte der Muskelgrößen in Ruhe sind in Tab. 4.4 dargestellt.

Signifikant größer erwiesen sich auch hier der LDM des M. mentalis ( $p = 0,043$ ), die Fläche ( $p = 0,034$ ) und der LDM ( $p = 0,001$ ) des M. depressor anguli oris, sowie zusätzlich der QDM des M. orbicularis oculi ( $p = 0,005$ ).



**Tab. 4.4: Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der paretischen Seite in Ruhe**

Muskel	Frauen				Männer				Vergleich (p-Wert)	Gesamt	
	n	MW ± SD	Max	Min	n	MW ± SD	Max	Min		n	MW ± SD
M. mentalis A	15	47,40 ± 15,8	70	25	38	53,49 ± 14,0	95	25	0,176	53	51,76 ± 14,6
M. mentalis LDM	15	11,90 ± 2,1	14,5	7,77	38	13,12 ± 1,9	17,8	9,74	<b>0,043</b>	53	12,78 ± 2,0
M. mentalis QDM	15	5,52 ± 1,2	7,36	3,04	38	5,44 ± 1,1	8,3	3,25	0,783	53	5,46 ± 1,1
M. d. a. oris A	15	36,37 ± 9,1	55	22	39	44,69 ± 13,6	81	19	<b>0,034</b>	54	42,38 ± 13,0
M. d. a. oris LDM	15	13,22 ± 2,5	17,8	9,99	39	16,15 ± 2,9	22,1	10,7	<b>0,001</b>	54	15,33 ± 3,1
M. d. a. oris QDM	15	3,95 ± 1,0	5,88	2,51	39	4,06 ± 0,9	6,39	1,68	0,773	54	4,03 ± 1,0
M. d. l. inf. A	15	33,01 ± 14,7	80	18	39	31,18 ± 11,0	56	13	0,620	54	31,69 ± 12,0
M. d. l. inf. LDM	15	11,46 ± 2,6	17	7,65	39	11,87 ± 2,5	18,4	7,36	0,584	54	11,76 ± 2,5
M. d. l. inf. QDM	15	3,86 ± 1,1	6,48	1,97	39	3,62 ± 1,0	6,26	2,05	0,213	54	3,69 ± 1,0
M. zyg. maj. A	15	75,28 ± 24,1	110	22	39	80,51 ± 30,3	174	29	0,552	54	79,06 ± 28,6
M. zyg. maj. LDM	15	17,88 ± 3,5	24,4	9,07	39	19,53 ± 4,6	30	12,9	0,216	54	19,07 ± 4,4
M. zyg. maj. QDM	15	6,88 ± 2,1	11,2	3,41	39	6,64 ± 1,5	10,3	3,88	0,617	54	6,70 ± 1,7
M. frontalis QDM	15	2,52 ± 0,8	3,71	1,43	39	2,33 ± 0,7	3,88	0,73	0,380	54	2,38 ± 0,7
M. orbic. oculi QDM	15	0,78 ± 0,3	1,29	0,35	39	0,99 ± 0,2	1,75	0,48	<b>0,005</b>	54	0,93 ± 0,3
M. orbic. oris QDM	15	2,04 ± 0,6	3,24	1,38	39	2,15 ± 0,5	3,32	1,35	0,465	54	2,12 ± 0,5
M. temporalis QDM	15	18,61 ± 1,7	22,1	15,8	39	18,85 ± 1,6	21,4	15	0,616	54	18,79 ± 1,6
M. masseter QDM	15	11,68 ± 2,8	16,3	7,74	38	12,07 ± 2,4	17,9	7,17	0,588	53	11,96 ± 2,5

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [mm<sup>2</sup>], LDM = Längendurchmesser [mm], QDM = Querdurchmesser [mm]. In der Spalte „Vergleich“ werden die MW der Muskelgrößen von Männern und Frauen mittels p-Wert verglichen (fett gedruckt bei statistisch signifikantem Unterschied).

#### 4.2.4 Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite in

##### Kontraktion

Für die Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite in Kontraktion zeigten sich die geringsten Größenunterschiede zwischen Männern und Frauen. Der einzig signifikante Größenunterschied in Tab. 4.5 fand sich für die Fläche ( $p = 0,040$ ) und den LDM ( $p = 0,001$ ) des M. depressor anguli oris.

**Tab. 4.5: Geschlechtsspezifische Muskelgrößen der paretischen Seite in Kontraktion**

Muskel	Frauen				Männer				Vergleich (p-Wert)	Gesamt	
	n	MW ± SD	Max	Min	n	MW ± SD	Max	Min		n	MW ± SD
M. mentalis A	15	58,12 ± 16,7	85	33,7	38	66,71 ± 17,6	113	41	0,106	53	64,28 ± 17,6
M. mentalis LDM	15	12,17 ± 1,5	14,6	10	38	13,05 ± 1,9	17,5	9,96	0,114	53	12,80 ± 1,8
M. mentalis QDM	15	6,45 ± 1,7	9,26	4,5	38	6,51 ± 1,1	9,22	4,77	0,883	53	6,49 ± 1,3
M. d. a. oris A	15	46,61 ± 14,3	74	24	39	57,59 ± 18,1	98	24	<b>0,040</b>	54	54,54 ± 17,7
M. d. a. oris LDM	15	13,75 ± 2,6	19,6	10,6	39	16,91 ± 3,1	24,6	11,2	<b>0,001</b>	54	16,04 ± 3,3
M. d. a. oris QDM	15	4,89 ± 1,2	6,98	3,33	39	4,95 ± 1,4	7,49	1,82	0,908	54	4,94 ± 1,4
M. d. l. inf. A	15	41,47 ± 14,0	70	16	39	38,85 ± 10,3	69	19	0,453	54	39,58 ± 11,4
M. d. l. inf. LDM	15	12,66 ± 3,2	16,8	7,29	39	13,05 ± 2,4	18,2	8,07	0,647	54	12,94 ± 2,7
M. d. l. inf. QDM	15	4,41 ± 0,9	5,94	2,93	39	4,02 ± 0,8	5,6	2,59	0,109	54	4,13 ± 0,8
M. zyg. maj. A	15	114,38 ± 30,1	166	34	39	113,95 ± 37,5	190	39	0,964	54	114,07 ± 35,3
M. zyg. maj. LDM	15	22,61 ± 3,7	27,6	11,9	39	22,11 ± 4,3	30	12,7	0,727	54	22,25 ± 4,1
M. zyg. maj. QDM	15	8,75 ± 1,8	11,7	5,45	39	8,34 ± 1,9	11,5	4,1	0,454	54	8,46 ± 1,9
M. frontalis QDM	15	3,57 ± 0,9	5,05	2,29	39	3,64 ± 0,9	5,6	1,9	0,787	54	3,62 ± 0,9
M. orbic. oculi QDM	15	0,87 ± 0,2	1,19	0,48	38	0,96 ± 0,3	1,53	0,43	0,268	53	0,93 ± 0,3
M. orbic. oris QDM	15	2,84 ± 0,5	3,8	2,18	39	3,27 ± 0,8	5,03	1,87	0,062	54	3,15 ± 0,8
M. temporalis QDM	15	19,50 ± 1,5	23,5	17,4	39	19,97 ± 1,6	22,7	16,4	0,325	54	19,84 ± 1,6
M. masseter QDM	15	12,96 ± 3,0	17,4	8,22	38	13,70 ± 2,3	19,3	9,18	0,336	53	13,49 ± 2,5

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [mm²], LDM = Längendurchmesser [mm], QDM = Querdurchmesser [mm]. In der Spalte „Vergleich“ werden die MW der Muskelgrößen von Männern und Frauen mittels p-Wert verglichen (fett gedruckt bei statistisch signifikantem Unterschied).

Wie anhand Tab. 4.2 - Tab. 4.5 zusammenfassend deutlich wird, sind fast alle vermessenen Muskeln für beide Geschlechter nicht signifikant unterschiedlich groß und konnten gemittelt werden. Lediglich der M. depressor anguli oris wies über alle Fälle hinweg (Ruhe/Kontraktion und kontralateral/paretisch) bei Männern signifikant größere Flächen (und LDM) auf als bei Frauen. Als einziger weiterer Muskel zeigte der M. orbicularis oculi signifikante geschlechtsspezifische Größenunterschiede auf beiden Seiten zugunsten der Männer, allerdings nur in Ruhe, nicht in Kontraktion.

#### 4.2.5 Geschlechtsspezifische Muskeldynamik der kontralateralen Gesichtsseite

Neben den absoluten Muskelgrößen aller untersuchten Muskeln wurde auch deren Kontraktilität bestimmt – sprich, ihre Größenänderung durch Kontraktion. Diese dynamische Eigenschaft ist in Tab. 4.6 und Tab. 4.7 prozentual angegeben. Das Hauptaugenmerk von Tab. 4.6 und Tab. 4.7 liegt auf dem Vergleich der Muskeldynamik von Männern und Frauen und

## Ergebnisse

zeigt, ob sich die Kontraktilität beider Geschlechter signifikant voneinander unterscheidet. Die Ergebnisse in Form von p-Werten sind in Tab. 4.6 für die kontralaterale Gesichtsseite und in Tab. 4.7 für die paretische Gesichtsseite dargestellt. Es konnte für keinen der untersuchten Muskeln ein signifikanter Größenunterschied der Muskeldynamik zwischen Frauen und Männern festgestellt werden.

**Tab. 4.6: Geschlechtsspezifische Muskeldynamik der kontralateralen Seite in %**

Muskel	Frauen				Männer				Vergleich (p-Wert)	Gesamt	
	n	MW ± SD	Max	Min	n	MW ± SD	Max	Min		n	MW ± SD
M. mentalis A	15	31,54 ± 25,9	74,5	0	38	30,70 ± 24,8	88,5	-6,2	0,914	53	30,94 ± 25,1
M. mentalis LDM	15	-1,08 ± 16,6	28,8	-21	38	0,61 ± 15,6	45,4	-25	0,729	53	0,13 ± 15,9
M. mentalis QDM	15	25,32 ± 22,8	73,3	-5,8	38	24,47 ± 25,7	117	-11	0,911	53	24,71 ± 24,9
M. d. a. oris A	15	25,24 ± 18,2	66,7	0	39	32,36 ± 20,7	77,8	2,38	0,249	54	30,38 ± 20,0
M. d. a. oris LDM	15	10,44 ± 22,4	57,9	-16	39	5,66 ± 16,9	49,6	-23	0,401	54	6,99 ± 18,4
M. d. a. oris QDM	15	18,04 ± 26,7	83	-18	39	28,15 ± 22,3	109	-18	0,164	54	25,34 ± 23,6
M. d. l. inf. A	15	27,24 ± 25,3	71,4	-8,7	39	30,68 ± 40,6	205	-22	0,761	54	29,73 ± 36,3
M. d. l. inf. LDM	15	-0,46 ± 17,5	27,3	-29	39	9,33 ± 21,6	53,8	-21	0,124	54	6,61 ± 20,5
M. d. l. inf. QDM	15	28,27 ± 31,3	86,9	-9,6	39	22,37 ± 35,5	127	-44	0,575	54	24,01 ± 34,4
M. zyg. maj. A	15	40,87 ± 29,3	108	7,26	39	51,26 ± 40,2	162	3,61	0,367	54	48,37 ± 37,2
M. zyg. maj. LDM	15	20,33 ± 15,5	49,2	-8,5	39	22,90 ± 25,7	83,8	-19	0,719	54	22,19 ± 22,9
M. zyg. maj. QDM	15	19,31 ± 24,3	63	-31	39	23,59 ± 30,0	98,1	-56	0,624	54	22,40 ± 28,4
M. frontalis QDM	15	51,85 ± 23,7	111	15,1	39	68,94 ± 42,4	216	13,8	0,148	54	64,19 ± 37,2
M. orbic. oculi QDM	14	13,68 ± 21,9	54,5	-23	39	1,23 ± 25,2	77,2	-35	0,108	53	4,52 ± 24,3
M. orbic. oris QDM	15	54,68 ± 37,6	160	7,66	39	52,60 ± 25,3	106	-8,4	0,816	54	53,18 ± 28,8
M. temporalis QDM	15	6,62 ± 4,2	15,4	0,39	39	8,52 ± 6,7	30,7	0,38	0,310	54	7,99 ± 6,0
M. masseter QDM	15	16,02 ± 11,2	33,8	0,67	38	14,45 ± 11,3	50,1	2,03	0,650	53	14,90 ± 11,3

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [%], LDM = Längendurchmesser [%], QDM = Querdurchmesser [%]. In der Spalte „Vergleich“ wird die Muskeldynamik von Männern und Frauen mittels p-Wert auf geschlechtsspezifische Größenunterschiede hin verglichen (fett gedruckt bei statistisch signifikantem Unterschied).

#### 4.2.6 Geschlechtsspezifische Muskeldynamik der paretischen Gesichtsseite

Im Gegensatz zur kontralateralen Gesichtsseite, auf der sich kein signifikanter Unterschied der Muskeldynamik zwischen Frauen und Männern feststellen lässt, zeigte der M. orbicularis oculi auf der paretischen Seite eine signifikant größere Muskeldynamik der Männer ( $\odot$  17,08 %;  $\odot$  -2,95 %,  $p = 0,003$ ). Der negative Wert gibt an, dass der Muskel in Kontraktion im Mittel kleiner gemessen wurde als in Ruhe. Für alle anderen Muskeln konnte bezüglich der Dynamik auf der paretischen Seite ebenfalls kein signifikanter Größenunterschied zwischen Frauen und Männern festgestellt werden.

**Tab. 4.7 Geschlechtsspezifische Muskeldynamik der paretischen Seite in %**

Muskel	Frauen				Männer				Vergleich (p-Wert)	Gesamt	
	n	MW $\pm$ SD	Max	Min	n	MW $\pm$ SD	Max	Min		n	MW $\pm$ SD
M. mentalis A	15	26,72 $\pm$ 25,1	78,9	3,7	38	28,62 $\pm$ 34,6	157	-15	0,847	53	28,08 $\pm$ 31,9
M. mentalis LDM	15	4,80 $\pm$ 20,1	57,3	-25	38	0,77 $\pm$ 17,5	59,6	-31	0,472	53	1,91 $\pm$ 18,2
M. mentalis QDM	15	18,45 $\pm$ 25,5	70,4	-20	38	22,88 $\pm$ 24,8	90,1	-18	0,564	53	21,63 $\pm$ 25,0
M. d. a. oris A	15	28,27 $\pm$ 26,2	88	-11	39	31,76 $\pm$ 33,3	152	-5	0,717	54	30,79 $\pm$ 31,3
M. d. a. oris LDM	15	4,82 $\pm$ 13,1	29,1	-16	39	6,79 $\pm$ 21,2	62	-43	0,738	54	6,24 $\pm$ 18,9
M. d. a. oris QDM	15	26,56 $\pm$ 28,9	104	-7,5	39	21,95 $\pm$ 23,7	94,2	-33	0,549	54	23,23 $\pm$ 25,1
M. d. l. inf. A	15	32,67 $\pm$ 46,8	160	-13	39	31,10 $\pm$ 32,0	131	-12	0,888	54	31,53 $\pm$ 36,1
M. d. l. inf. LDM	15	10,30 $\pm$ 14,4	35,5	-12	39	13,38 $\pm$ 26,8	75,7	-41	0,590	54	12,52 $\pm$ 23,4
M. d. l. inf. QDM	15	24,15 $\pm$ 56,2	202	-24	39	14,72 $\pm$ 24,2	96,6	-26	0,301	54	17,34 $\pm$ 33,1
M. zyg. maj. A	15	59,97 $\pm$ 49,3	191	15,7	39	49,04 $\pm$ 56,9	322	-4,6	0,516	54	52,08 $\pm$ 54,8
M. zyg. maj. LDM	15	28,46 $\pm$ 19,2	68,9	-4,6	39	16,30 $\pm$ 25,1	81	-33	0,096	54	19,68 $\pm$ 23,4
M. zyg. maj. QDM	15	35,03 $\pm$ 37,6	116	-21	39	30,58 $\pm$ 42,1	167	-22	0,722	54	31,81 $\pm$ 40,9
M. frontalis QDM	15	45,68 $\pm$ 23,3	87,1	6,15	39	62,64 $\pm$ 41,6	173	12,7	0,143	54	57,93 $\pm$ 36,5
M. orbic. oculi QDM	15	17,08 $\pm$ 24,7	64,3	-19	38	-2,95 $\pm$ 19,7	37,4	-46	<b>0,003</b>	53	2,72 $\pm$ 21,1
M. orbic. oris QDM	15	43,54 $\pm$ 25,6	90	2,47	39	54,47 $\pm$ 32,7	143	12,1	0,250	54	51,43 $\pm$ 30,7
M. temporalis QDM	15	5,00 $\pm$ 4,6	15,5	-2,7	39	6,08 $\pm$ 4,6	16,6	-2,7	0,445	54	5,78 $\pm$ 4,6
M. masseter QDM	15	11,20 $\pm$ 7,5	29	3,06	38	14,43 $\pm$ 8,9	34,7	0,2	0,218	53	13,52 $\pm$ 8,5

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [%], LDM = Längendurchmesser [%], QDM = Querdurchmesser [%]. In der Spalte „Vergleich“ wird die Muskeldynamik von Männern und Frauen mittels p-Wert auf geschlechtsspezifische Größenunterschiede hin verglichen (fett gedruckt bei statistisch signifikantem Unterschied).

### 4.3 Größenunterschiede in Ruhe und Kontraktion

Nachdem in Tab. 4.6 und Tab. 4.7 verglichen wurde, ob sich die Muskeldynamik von Männern und Frauen signifikant unterscheidet, soll nun die Dynamik selbst genauer beschrieben werden, sprich die prozentuale Größenänderung der Muskulatur bei maximaler Kontraktion bezogen auf die Muskelgröße im Ruhezustand. Da sich mit Ausnahme des M. orbicularis oculi keine signifikanten Unterschiede der Muskeldynamik zwischen Männern und Frauen feststellen ließen, konnten die Werte für die Muskeldynamik in Tab. 4.8 über das Geschlecht gemittelt werden. Der Vollständigkeit halber wird der M. orbicularis oculi hier dennoch mit aufgeführt.

**Tab. 4.8: Muskeldynamik der paretischen und kontralateralen Seite**

Muskel	(Kontraktion-Ruhe)/Ruhe Kontralaterale Seite [%]			(Kontraktion-Ruhe)/Ruhe Paretische Seite [%]		
	n	MW ± SD	p-Wert	n	MW ± SD	p-Wert
M. mentalis A	53	30,94 ± 24,9	<0,001	53	28,08 ± 32,0	<0,001
M. mentalis LDM	53	0,13 ± 15,7	0,952	53	1,91 ± 18,2	0,447
M. mentalis QDM	53	24,71 ± 24,7	<0,001	53	21,63 ± 24,9	<0,001
M. depressor anguli oris A	54	30,38 ± 20,1	<0,001	54	30,79 ± 31,3	<0,001
M. depressor anguli oris LDM	54	6,99 ± 18,5	0,008	54	6,24 ± 19,2	0,020
M. depressor anguli oris QDM	54	25,34 ± 23,8	<0,001	54	23,23 ± 25,0	<0,001
M. depressor labii inferioris A	54	29,73 ± 36,8	<0,001	54	31,53 ± 36,3	<0,001
M. depressor labii inferioris LDM	54	6,61 ± 20,9	0,024	54	12,52 ± 23,9	<0,001
M. depressor labii inferioris QDM	54	24,01 ± 34,2	<0,001	54	17,34 ± 35,7	0,002
M. zygomaticus major A	54	48,37 ± 37,5	<0,001	54	52,08 ± 54,7	<0,001
M. zygomaticus major LDM	54	22,19 ± 23,2	<0,001	54	19,68 ± 24,0	<0,001
M. zygomaticus major QDM	54	22,40 ± 28,4	<0,001	54	31,81 ± 40,6	<0,001
M. frontalis QDM	54	64,19 ± 38,7	<0,001	54	57,93 ± 38,0	<0,001
M. orbicularis oculi QDM	53	4,52 ± 24,8	0,190	53	2,72 ± 22,9	0,391
M. orbicularis oris QDM	53	53,18 ± 28,9	<0,001	53	51,43 ± 31,0	<0,001
M. temporalis QDM	54	7,99 ± 6,1	<0,001	54	5,78 ± 4,6	<0,001
M. masseter QDM	53	14,90 ± 11,2	<0,001	53	13,52 ± 8,6	<0,001

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [%], LDM = Längendurchmesser [%], QDM = Querdurchmesser [%]. Es wird die Größe der mimischen Muskulatur bei maximaler Kontraktion mit der Muskelgröße im Ruhezustand mittels p-Wert verglichen (fett gedruckt bei statistisch signifikantem Unterschied).

Tab. 4.8 zeigt die prozentuale Muskeldynamik geschlechtsunabhängig für die kontralaterale und die paretische Gesichtsseite. Ein Vergleich der Gesichtsseiten wird im Verlauf der Arbeit noch näher betrachtet und soll an dieser Stelle nicht im Vordergrund stehen.

Alle gemessenen Muskeln, bis auf den M. orbicularis oculi, wiesen einen signifikanten Größenunterschied zwischen Ruhezustand und maximaler Kontraktion auf. Die größte Dynamik wurde für den M. frontalis festgestellt (kontralat. Seite: MW = 64,19 %, paret. Seite: MW = 57,93 %). Der M. orbicularis oris zeigte ebenfalls eine Größenänderung von über 50 % (kontralat. Seite: MW = 53,18 %, paret. Seite: MW = 51,43 %), gefolgt von dem M. zygomaticus major (kontralat. Seite: MW = 48,37 %, paret. Seite: MW = 52,08 %). Mit Ausnahme des M. orbicularis oculi vergrößerten sich alle gemessenen Muskeln signifikant in Kontraktion. Die Kaumuskulatur wies dabei gegenüber der mimischen Muskulatur eine deutlich geringe Dynamik auf.

#### **4.4 Größenunterschiede zwischen paretischer und kontralateraler Gesichtsseite**

Ein entscheidender Punkt in dieser Arbeit ist der Vergleich der Muskelgrößen zwischen kontralateraler und paretischer Gesichtsseite. Nachdem zuvor die absoluten Mittelwerte und die Dynamik der mimischen Muskulatur seitengetrennt untersucht wurden, soll im Folgenden auf den Größenunterschied zwischen der von der zentralen Fazialisparese betroffenen Seite und der kontralateralen Gesichtsseite eingegangen werden.

Tab. 4.9 vergleicht die Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite und der paretischen Gesichtsseite in Ruhe und in Kontraktion. Es sind sowohl die absoluten als auch die relativen Differenzen angegeben, um die Größenänderung besser zu verdeutlichen.

Für drei der neun gemessenen Gesichtsmuskeln in Ruhe konnte eine signifikante Größenabnahme auf der paretischen Gesichtsseite festgestellt werden. Hierzu zählten der M. depressor anguli oris (MW rel. = -8,2 %;  $p = 0,001$ ), der M. depressor labii inferioris (MW rel. = -6,7 %;  $p = 0,041$ ) und der M. zygomaticus major (MW rel. = -18 %;  $p < 0,001$ ). Der M. zygomaticus major zeigte dabei die stärkste Größenabnahme auf der paretischen Seite in Ruhe. Keine signifikanten Größenänderungen wies die Kaumuskulatur (M. temporalis und M. masseter) auf sowie der M. frontalis und der M. orbicularis oculi, welche im Fall einer zentralen Fazialisparese nicht betroffen sind.

Ein ähnliches Bild wie für die Gesichtsmuskulatur in Ruhe zeigte sich für die Muskelgrößen bei maximaler Kontraktion. Vier der neun gemessenen Muskeln wiesen eine signifikante, prozentual kleinere Muskelgröße auf der paretischen Gesichtsseite auf. Der M. depressor anguli oris (MW rel. = -7,5 %;  $p = 0,001$ ), der M. depressor labii inferioris (MW rel. = -5,4 %;  $p = 0,026$ ) und der M. zygomaticus major (MW rel. = -17,7 %;  $p < 0,001$ ) wurden, wie auch im Ruhezustand, auf der paretischen Gesichtsseite signifikant kleiner gemessen. Hinzu kommt im kontrahierten Zustand ein signifikanter Größenunterschied des M. masseter (MW rel. = -4,4 %;  $p = 0,011$ ) und des M. mentalis (MW rel. = -3,9 %;  $p = 0,045$ ) zugunsten der kontralateralen

## Ergebnisse

Gesichtsseite. Ebenso wie in Ruhe ergab sich auch in Kontraktion die stärkste Größenabnahme der paretischen Seite für den M. zygomaticus major.

**Tab. 4.9: Absolute und relative Größenunterschiede zwischen paretischer und kontralateraler Seite**

Muskel	Paret.-Kontrat. in Ruhe				Paret.-Kontrat. in Kontraktion			
	n	Absolut MW $\pm$ SD	Relativ [%] MW $\pm$ SD	p-Wert	n	Absolut MW $\pm$ SD	Relativ [%] MW $\pm$ SD	p-Wert
M. mentalis A	53	-1,8 $\pm$ 11,7	-0,6 $\pm$ 23,0	0,262	53	-4,0 $\pm$ 14,0	-3,9 $\pm$ 21,0	<b>0,045</b>
M. mentalis LDM	53	-0,4 $\pm$ 1,8	-1,8 $\pm$ 13,6	0,153	53	-0,2 $\pm$ 1,8	-0,1 $\pm$ 14,7	0,470
M. mentalis QDM	53	0,0 $\pm$ 0,9	1,5 $\pm$ 18,0	0,929	53	-0,2 $\pm$ 0,7	-2,2 $\pm$ 10,8	0,117
M. d. a. oris A	54	-5,0 $\pm$ 10,8	-8,2 $\pm$ 22,8	<b>0,001</b>	54	-7,5 $\pm$ 15,5	-8,9 $\pm$ 22,8	<b>0,001</b>
M. d. a. oris LDM	54	-0,7 $\pm$ 2,8	-2,8 $\pm$ 18,4	0,069	54	-1,0 $\pm$ 3,7	-3,2 $\pm$ 19,8	<b>0,044</b>
M. d. a. oris QDM	54	-0,1 $\pm$ 1,0	-1,2 $\pm$ 24,9	0,315	54	-0,2 $\pm$ 1,3	-2,4 $\pm$ 27,2	0,194
M. d. l. inf. A	54	-3,1 $\pm$ 10,8	-6,7 $\pm$ 28,9	<b>0,041</b>	54	-4,3 $\pm$ 14,0	-5,4 $\pm$ 28,8	<b>0,026</b>
M. d. l. inf. LDM	54	-1,0 $\pm$ 3,1	-4,9 $\pm$ 23,5	<b>0,022</b>	54	-0,4 $\pm$ 3,3	0,1 $\pm$ 24,7	0,365
M. d. l. inf. QDM	54	-0,1 $\pm$ 1,1	-0,1 $\pm$ 30,8	0,530	54	-0,4 $\pm$ 1,2	-5,6 $\pm$ 28,0	<b>0,009</b>
M. zyg. maj. A	54	-20,2 $\pm$ 24,0	-18,0 $\pm$ 25,6	<b>&lt;0,001</b>	54	-26,0 $\pm$ 26,7	-17,7 $\pm$ 24,7	<b>&lt;0,001</b>
M. zyg. maj. LDM	54	-1,2 $\pm$ 4,7	-2,9 $\pm$ 26,1	0,072	54	-1,8 $\pm$ 4,6	-5,9 $\pm$ 20,8	<b>0,007</b>
M. zyg. maj. QDM	54	-1,2 $\pm$ 1,8	-13,5 $\pm$ 21,7	<b>&lt;0,001</b>	54	-0,9 $\pm$ 2,3	-6,6 $\pm$ 32,4	<b>0,003</b>
M. frontalis QDM	54	0,1 $\pm$ 0,6	5,9 $\pm$ 26,4	0,539	54	-0,1 $\pm$ 0,9	1,3 $\pm$ 24,3	0,596
M. orbic. oculi QDM	54	0,0 $\pm$ 0,2	-1,4 $\pm$ 26,9	0,289	52	-0,1 $\pm$ 0,2	-3,2 $\pm$ 25,6	0,106
M. orbic. oris QDM	54	0,1 $\pm$ 0,6	5,9 $\pm$ 26,2	0,528	52	0,0 $\pm$ 0,7	3,3 $\pm$ 22,2	0,717
M. temporalis QDM	54	0,1 $\pm$ 1,8	1,3 $\pm$ 10,4	0,714	54	-0,3 $\pm$ 1,8	-0,8 $\pm$ 9,0	0,276
M. masseter QDM	53	-0,5 $\pm$ 2,2	-2,9 $\pm$ 17,2	0,095	53	-0,7 $\pm$ 2,1	-4,4 $\pm$ 14,0	<b>0,011</b>

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [%], LDM = Längendurchmesser [%], QDM = Querdurchmesser [%], p-Wert für Differenz der absoluten Mittelwerte. Es werden die absoluten Größenunterschiede der mimischen Muskulatur auf der kontralateralen und der paretischen Gesichtsseite mittels p-Wert verglichen (fett gedruckt bei statistisch signifikantem Unterschied).

Zusammenfassend zeigte sich somit für vier der fünf von der zentralen Fazialisparese betroffenen Muskeln eine signifikante Größenabnahme der Muskulatur auf der paretischen Gesichtsseite bei maximaler Kontraktion. Auch im Ruhezustand erwiesen sich drei dieser fünf Muskeln auf der paretischen Seite als signifikant kleiner.

### 4.5 Vergleich der Muskelgrößen mit Referenzwerten

Um beurteilen zu können, ob sich die teils signifikant kleineren Messwerte der paretischen Gesichtsseite im Vergleich zur kontralateralen Gesichtsseite auch gegen bekannte

Referenzwerte gesunder Probanden (Volk et al. 2014a) abheben, wurden diese mittels z-Transformation verglichen.

Die ermittelten z-Werte sowie die absoluten Muskelgrößen des Patientenkollektivs und der Referenz sind in Tab. 4.10 - Tab. 4.13 für die kontralaterale und die paretische Gesichtsseite sowohl in Ruhe als auch in Kontraktion aufgeführt. Der z-Wert gibt hierbei an, wie viele Standardabweichungen die Muskelgrößen der Patienten vom Mittelwert der Referenz abweichen. Aufgrund der z-Transformation entspricht der Mittelwert der Referenz nun einem z-Wert von 0 und die einfache Standardabweichung einem z-Wert von 1.

### **4.5.1 Vergleich der Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite mit Referenzwerten**

Tab. 4.10 zeigt, dass sich in Ruhe für alle Muskeln, bis auf den M. zygomaticus major und den M. orbicularis oculi, ein negativer z-Wert ergab. Keiner der gemessenen Muskeln des Patientenkollektivs unterschied sich um mehr als 1,57 Standardabweichungen von der Referenz. Die größte Differenz wies der M. zygomaticus major auf Seiten der Männer auf.



## Ergebnisse

**Tab. 4.10: Vergleich der kontralateralen Seite in Ruhe mit den Referenzwerten**

Muskel	Frauen					Männer				
	Muskelgröße		Referenz		z - Score	Muskelgröße		Referenz		z - Score
	n	MW ± SD	n	MW ± SD		n	MW ± SD	n	MW ± SD	
M. mentalis A	15	48,6 ± 14,4	70	52,6 ± 15,7	-0,25	38	55,6 ± 15,6	70	61,8 ± 17,5	-0,35
M. mentalis LDM	15	12,4 ± 2,5	70	13,5 ± 2,2	-0,50	38	13,5 ± 2,1	70	14,9 ± 2,4	-0,58
M. mentalis QDM	15	5,5 ± 1,2	70	5,9 ± 1,1	-0,37	38	5,5 ± 1,1	70	6,7 ± 1,7	-0,72
M. d. a. oris A	15	40,3 ± 11,0	70	40,4 ± 11,8	-0,01	39	50,1 ± 14,6	70	53,9 ± 15,2	-0,25
M. d. a. oris LDM	15	13,7 ± 3,0	70	13,5 ± 2,1	0,09	39	16,9 ± 2,7	70	15,6 ± 2,5	0,52
M. d. a. oris QDM	15	4,2 ± 1,0	70	4,4 ± 1,1	-0,17	39	4,1 ± 0,7	70	5,0 ± 1,1	-0,74
M. d. l. inf. A	15	31,7 ± 6,9	70	42,5 ± 12,2	-0,89	39	35,9 ± 10,9	70	47,7 ± 16,8	-0,70
M. d. l. inf. LDM	15	13,0 ± 4,4	70	13,0 ± 2,0	0,00	39	12,7 ± 2,5	70	14,3 ± 2,9	-0,56
M. d. l. inf. QDM	15	3,7 ± 0,6	70	4,4 ± 0,9	-0,79	39	3,9 ± 0,9	70	4,7 ± 1,2	-0,66
M. zyg. maj. A	15	97,8 ± 28,1	70	73,4 ± 24,8	0,98	39	99,8 ± 31,4	70	61,2 ± 24,5	1,57
M. zyg. maj. LDM	15	19,6 ± 4,4	70	14,7 ± 2,8	1,75	39	20,5 ± 4,7	70	14,7 ± 3,0	1,92
M. zyg. maj. QDM	15	8,5 ± 1,6	70	6,9 ± 1,4	1,20	39	7,7 ± 1,5	70	5,9 ± 1,4	1,28
M. frontalis QDM	15	2,6 ± 0,9	70	2,9 ± 0,7	-0,43	39	2,2 ± 0,7	70	2,4 ± 0,8	-0,16
M. orbic. oculi QDM	15	0,9 ± 0,2	70	0,8 ± 0,2	0,10	39	1,0 ± 0,2	70	1,0 ± 0,2	0,02
M. orbic. oris QDM	15	2,0 ± 0,5	70	2,7 ± 0,6	-1,05	39	2,1 ± 0,5	70	2,8 ± 0,6	-1,28
M. temporalis QDM	15	18,4 ± 2,0	70	20,3 ± 2,3	-0,81	39	18,8 ± 2,2	70	21,7 ± 2,2	-1,33
M. masseter QDM	15	11,8 ± 3,0	70	14,4 ± 2,2	-1,20	38	12,8 ± 2,3	70	15,7 ± 2,4	-1,22

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [mm<sup>2</sup>], LDM = Längendurchmesser [mm], QDM = Querdurchmesser [mm], z-Score Transformierung. Verglichen werden die absoluten Muskelgrößen der Patienten auf der kontralateralen Gesichtsseite in Ruhe mit Referenzwerten (Volk et al. 2014a).

Wie in Ruhe, wies die Muskulatur der Patienten auf der kontralateralen Gesichtsseite auch in Kontraktion Muskelgrößen nahe des Mittelwertes der Referenz auf. Die größte Abweichung mit der -1,53-fachen Standardabweichung fand sich für den M. orbicularis oris des männlichen Kollektivs. Alle anderen Muskeln bewegten sich innerhalb der 1,1-fachen Standardabweichung, mit überwiegend negativem Vorzeichen der z-Werte. Für die kontralaterale, nicht von der zentralen Fazialisparese betroffenen Seite konnte somit keine auffällige Abweichung von der Referenz festgestellt werden.

**Tab. 4.11: Vergleich der kontralateralen Seite in Kontraktion mit den Referenzwerten**

Muskel	Frauen					Männer				
	Muskelgröße		Referenz		z - Score	Muskelgröße		Referenz		z - Score
	n	MW ± SD	n	MW ± SD		n	MW ± SD	n	MW ± SD	
M. mentalis A	15	62,4 ± 17,6	70	60,9 ± 16,3	0,09	38	70,7 ± 17,1	70	73,4 ± 20,5	-0,13
M. mentalis LDM	15	12,0 ± 1,9	70	13,7 ± 2,3	-0,76	38	13,4 ± 1,7	70	15,5 ± 2,3	-0,94
M. mentalis QDM	15	6,8 ± 1,6	70	6,4 ± 1,3	0,33	38	6,6 ± 1,0	70	7,3 ± 1,6	-0,42
M. d. a. oris A	15	51,5 ± 19,1	70	56,1 ± 19,0	-0,24	39	66,2 ± 21,3	70	68,6 ± 21,9	-0,11
M. d. a. oris LDM	15	14,9 ± 4,0	70	14,3 ± 2,4	0,26	39	17,9 ± 4,0	70	16,0 ± 2,6	0,69
M. d. a. oris QDM	15	4,9 ± 1,3	70	5,3 ± 1,4	-0,25	39	5,3 ± 1,1	70	5,8 ± 1,4	-0,37
M. d. l. inf. A	15	40,1 ± 10,0	70	52,0 ± 16,2	-0,73	39	45,3 ± 14,1	70	58,4 ± 22,7	-0,58
M. d. l. inf. LDM	15	12,5 ± 2,7	70	13,5 ± 2,2	-0,45	39	13,6 ± 2,7	70	14,7 ± 2,5	-0,44
M. d. l. inf. QDM	15	4,6 ± 1,0	70	4,9 ± 1,0	-0,26	39	4,6 ± 1,1	70	5,1 ± 1,3	-0,42
M. zyg. maj. A	15	133,1 ± 28,8	70	122,8 ± 36,1	0,28	39	142,7 ± 31,4	70	107,9 ± 34,9	1,00
M. zyg. maj. LDM	15	23,2 ± 3,8	70	17,8 ± 3,2	1,64	39	24,4 ± 4,0	70	18,7 ± 3,7	1,56
M. zyg. maj. QDM	15	9,9 ± 1,9	70	8,7 ± 1,8	0,70	39	9,2 ± 1,9	70	8,5 ± 2,2	0,33
M. frontalis QDM	15	3,8 ± 1,3	70	3,9 ± 1,0	-0,07	39	3,6 ± 0,9	70	3,3 ± 0,9	0,38
M. orbic. oculi QDM	15	0,9 ± 0,2	70	1,1 ± 0,2	-0,87	39	1,0 ± 0,3	70	1,3 ± 0,3	-1,05
M. orbic. oris QDM	15	3,1 ± 0,8	70	3,8 ± 0,7	-1,08	39	3,1 ± 0,8	70	4,2 ± 0,7	-1,53
M. temporalis QDM	15	19,6 ± 1,8	70	20,8 ± 2,3	-0,52	39	20,3 ± 1,8	70	22,1 ± 2,3	-0,76
M. masseter QDM	15	13,5 ± 2,8	70	15,6 ± 2,2	-0,93	38	14,5 ± 2,4	70	17,3 ± 2,7	-1,03

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [mm<sup>2</sup>], LDM = Längendurchmesser [mm], QDM = Querdurchmesser [mm], z-Score Transformierung. Verglichen werden die absoluten Muskelgrößen der Patienten auf der kontralateralen Gesichtsseite in Kontraktion mit Referenzwerten (Volk et al. 2014a).

#### 4.5.2 Vergleich der Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite mit Referenzwerten

Nachdem nun die kontralaterale Gesichtsseite der Patienten mit den Referenzwerten verglichen wurde, soll in Tab. 4.12 und Tab. 4.13 die paretische Gesichtsseite betrachtet werden. In Tab. 4.12 sind die z-Werte der paretischen Gesichtsseite in Ruhe dargestellt. Für alle Muskeln, mit Ausnahme des M. zygomaticus major, ergaben sich negative z-Werte, was bedeutet, dass die Muskelgrößen der Patienten kleiner waren als die Mittelwerte der Referenz. Wie schon auf der kontralateralen Gesichtsseite zeigten sich auch auf der paretischen Seite z-Werte innerhalb der 1,51-fachen Standardabweichung, wobei sich für den M. masseter der Männer die größte Abweichung vom Mittelwert der Referenz ergab.

## Ergebnisse

**Tab. 4.12: Vergleich der paretischen Seite in Ruhe mit den Referenzwerten**

Muskel	Frauen					Männer				
	Muskelgröße		Referenz		z - Score	Muskelgröße		Referenz		z - Score
	n	MW $\pm$ SD	n	MW $\pm$ SD		n	MW $\pm$ SD	n	MW $\pm$ SD	
M. mentalis A	15	47,4 $\pm$ 15,8	70	52,6 $\pm$ 15,7	-0,33	38	53,5 $\pm$ 14,0	70	61,8 $\pm$ 17,5	-0,47
M. mentalis LDM	15	11,9 $\pm$ 2,1	70	13,5 $\pm$ 2,2	-0,71	38	13,1 $\pm$ 1,9	70	14,9 $\pm$ 2,4	-0,72
M. mentalis QDM	15	5,5 $\pm$ 1,2	70	5,9 $\pm$ 1,1	-0,32	38	5,4 $\pm$ 1,1	70	6,7 $\pm$ 1,7	-0,74
M. d. a. oris A	15	36,4 $\pm$ 9,1	70	40,4 $\pm$ 11,8	-0,34	39	44,7 $\pm$ 13,6	70	53,9 $\pm$ 15,2	-0,60
M. d. a. oris LDM	15	13,2 $\pm$ 2,5	70	13,5 $\pm$ 2,1	-0,15	39	16,1 $\pm$ 2,9	70	15,6 $\pm$ 2,5	0,20
M. d. a. oris QDM	15	4,0 $\pm$ 1,0	70	4,4 $\pm$ 1,1	-0,44	39	4,1 $\pm$ 0,9	70	5,0 $\pm$ 1,1	-0,80
M. d. l. inf. A	15	33,0 $\pm$ 14,7	70	42,5 $\pm$ 12,2	-0,78	39	31,2 $\pm$ 11,0	70	47,7 $\pm$ 16,8	-0,98
M. d. l. inf. LDM	15	11,5 $\pm$ 2,6	70	13,0 $\pm$ 2,0	-0,79	39	11,9 $\pm$ 2,5	70	14,3 $\pm$ 2,9	-0,83
M. d. l. inf. QDM	15	3,9 $\pm$ 1,1	70	4,4 $\pm$ 0,9	-0,58	39	3,6 $\pm$ 1,0	70	4,7 $\pm$ 1,2	-0,86
M. zyg. maj. A	15	75,3 $\pm$ 24,1	70	73,4 $\pm$ 24,8	0,08	39	80,5 $\pm$ 30,3	70	61,2 $\pm$ 24,5	0,79
M. zyg. maj. LDM	15	17,9 $\pm$ 3,5	70	14,7 $\pm$ 2,8	1,13	39	19,5 $\pm$ 4,6	70	14,7 $\pm$ 3,0	1,60
M. zyg. maj. QDM	15	6,9 $\pm$ 2,1	70	6,9 $\pm$ 1,4	0,01	39	6,6 $\pm$ 1,5	70	5,9 $\pm$ 1,4	0,53
M. frontalis QDM	15	2,5 $\pm$ 0,8	70	2,9 $\pm$ 0,7	-0,53	39	2,3 $\pm$ 0,7	70	2,4 $\pm$ 0,8	-0,03
M. orbic. oculi QDM	15	0,8 $\pm$ 0,3	70	0,8 $\pm$ 0,2	-0,32	39	1,0 $\pm$ 0,2	70	1,0 $\pm$ 0,2	-0,05
M. orbic. oris QDM	15	2,0 $\pm$ 0,6	70	2,7 $\pm$ 0,6	-1,05	39	2,1 $\pm$ 0,5	70	2,8 $\pm$ 0,6	-1,15
M. temporalis QDM	15	18,6 $\pm$ 1,7	70	20,3 $\pm$ 2,3	-0,73	39	18,9 $\pm$ 1,6	70	21,7 $\pm$ 2,2	-1,31
M. masseter QDM	15	11,7 $\pm$ 2,8	70	14,4 $\pm$ 2,2	-1,27	38	12,1 $\pm$ 2,4	70	15,7 $\pm$ 2,4	-1,51

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [mm<sup>2</sup>], LDM = Längendurchmesser [mm], QDM = Querdurchmesser [mm], z-Score Transformierung. Verglichen werden die absoluten Muskelgrößen der Patienten auf der paretischen Gesichtsseite in Ruhe mit Referenzwerten (Volk et al. 2014a).

Tab. 4.13 zeigt die z-Werte der Patientenstichprobe auf der paretischen Gesichtsseite in Kontraktion. Auch hier wiesen mit Ausnahme des M. zygomaticus major und des M. frontalis alle gemessenen Muskeln auf Seiten der Männer negative z-Werte auf. Für das weibliche Kollektiv stellten sich sogar alle z-Werte negativ dar. Das heißt, dass die Muskelgrößen der neun untersuchten Muskeln der Patienten unterhalb des Mittelwertes der Referenz lagen. Dies jedoch überwiegend innerhalb der einfachen Standardabweichung. Lediglich der M. orbicularis oculi und der M. orbicularis oris beider Geschlechter sowie der M. temporalis der Männer wichen um mehr als eine Standardabweichung von der Referenz ab. Der M. orbicularis oris wies hierbei die größte Abweichung mit einem z-Wert von -1,43 auf.

## Ergebnisse

**Tab. 4.13: Vergleich der paretischen Seite in Kontraktion mit den Referenzwerten**

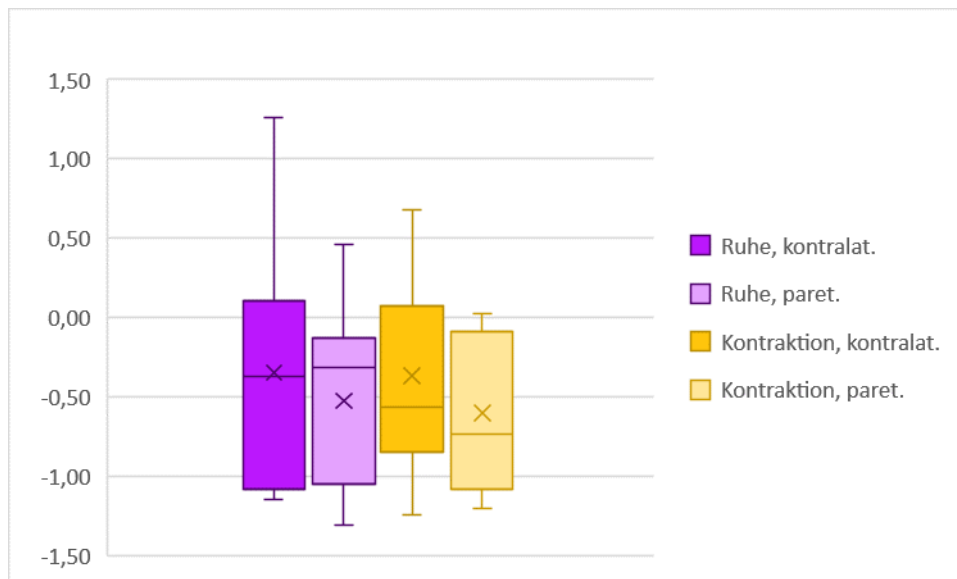
Muskel	Frauen					Männer				
	Muskelgröße		Referenz		z - Score	Muskelgröße		Referenz		z - Score
	n	MW $\pm$ SD	n	MW $\pm$ SD		n	MW $\pm$ SD	n	MW $\pm$ SD	
M. mentalis A	15	58,1 $\pm$ 16,7	70	60,9 $\pm$ 16,3	-0,17	38	66,7 $\pm$ 17,6	70	73,4 $\pm$ 20,5	-0,33
M. mentalis LDM	15	12,2 $\pm$ 1,5	70	13,7 $\pm$ 2,3	-0,69	38	13,1 $\pm$ 1,9	70	15,5 $\pm$ 2,3	-1,07
M. mentalis QDM	15	6,4 $\pm$ 1,7	70	6,4 $\pm$ 1,3	0,07	38	6,5 $\pm$ 1,1	70	7,3 $\pm$ 1,6	-0,49
M. d. a. oris A	15	46,6 $\pm$ 14,3	70	56,1 $\pm$ 19,0	-0,50	39	57,6 $\pm$ 18,1	70	68,6 $\pm$ 21,9	-0,50
M. d. a. oris LDM	15	13,8 $\pm$ 2,6	70	14,3 $\pm$ 2,4	-0,22	39	16,9 $\pm$ 3,1	70	16,0 $\pm$ 2,6	0,33
M. d. a. oris QDM	15	4,9 $\pm$ 1,2	70	5,3 $\pm$ 1,4	-0,28	39	5,0 $\pm$ 1,4	70	5,8 $\pm$ 1,4	-0,58
M. d. l. inf. A	15	41,5 $\pm$ 14,0	70	52,0 $\pm$ 16,2	-0,65	39	38,8 $\pm$ 10,3	70	58,4 $\pm$ 22,7	-0,86
M. d. l. inf. LDM	15	12,7 $\pm$ 3,2	70	13,5 $\pm$ 2,2	-0,40	39	13,0 $\pm$ 2,4	70	14,7 $\pm$ 2,5	-0,66
M. d. l. inf. QDM	15	4,4 $\pm$ 0,9	70	4,9 $\pm$ 1,0	-0,46	39	4,0 $\pm$ 0,8	70	5,1 $\pm$ 1,3	-0,83
M. zyg. maj. A	15	114,4 $\pm$ 30,1	70	122,8 $\pm$ 36,1	-0,23	39	113,9 $\pm$ 37,5	70	107,9 $\pm$ 34,9	0,17
M. zyg. maj. LDM	15	22,6 $\pm$ 3,7	70	17,8 $\pm$ 3,2	1,47	39	22,1 $\pm$ 4,3	70	18,7 $\pm$ 3,7	0,93
M. zyg. maj. QDM	15	8,7 $\pm$ 1,8	70	8,7 $\pm$ 1,8	0,04	39	8,3 $\pm$ 1,9	70	8,5 $\pm$ 2,2	-0,06
M. frontalis QDM	15	3,6 $\pm$ 0,9	70	3,9 $\pm$ 1,0	-0,34	39	3,6 $\pm$ 0,9	70	3,3 $\pm$ 0,9	0,40
M. orbic. oculi QDM	15	0,9 $\pm$ 0,2	70	1,1 $\pm$ 0,2	-1,20	39	1,0 $\pm$ 0,3	70	1,3 $\pm$ 0,3	-1,19
M. orbic. oris QDM	15	2,8 $\pm$ 0,5	70	3,8 $\pm$ 0,7	-1,43	39	3,3 $\pm$ 0,8	70	4,2 $\pm$ 0,7	-1,33
M. temporalis QDM	15	19,5 $\pm$ 1,5	70	20,8 $\pm$ 2,3	-0,56	39	20,0 $\pm$ 1,6	70	22,1 $\pm$ 2,3	-0,90
M. masseter QDM	15	13,5 $\pm$ 2,8	70	15,6 $\pm$ 2,2	-0,93	38	14,5 $\pm$ 2,4	70	17,3 $\pm$ 2,7	-1,03

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, A = Muskelfläche [mm<sup>2</sup>], LDM = Längendurchmesser [mm], QDM = Querdurchmesser [mm], z-Score Transformierung. Verglichen werden die absoluten Muskelgrößen der Patienten auf der paretischen Gesichtsseite in Kontraktion mit Referenzwerten (Volk et al. 2014a).

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass sich mit einer maximalen Abweichung von  $z = 1,57$  keine gravierenden Größenunterschiede zwischen den Muskeln des Patientenkollektives und der Referenz auf der kontralateralen und der paretischen Gesichtsseite feststellen ließen. Die größte Abweichung vom Mittelwert der Referenz mit durchgängig positiven z-Werten zeigte der M. zygomaticus major des männlichen Patientenkollektivs. Die überwiegende Mehrheit aller anderen gemessenen Muskeln präsentierte sich mit negativem Vorzeichen und damit mit geringfügig kleineren Muskelgrößen als die Mittelwerte der Referenz.

Um die genannten Ergebnisse für alle Muskeln zusammenzufassen und grafisch darzustellen, wurde ein Box Plot erstellt. Dieser zeigt in Abb. 4.1 die z-Werte aller Muskeln des Patientenkollektivs in einer Box in Bezug zu dem Mittelwert der Muskelgrößen der Referenz.

## Ergebnisse



**Abb. 4.1: z-Scores aller gemessenen Muskeln in Bezug zu Referenzwerten**  
Mittelwerte sind durch Kreuze markiert.

In Abb. 4.1 ist zu erkennen, dass die medianen z-Werte des Patientenkollektivs in Ruhe und Kontraktion sowohl der kontralateralen als auch der paretischen Gesichtsseite unterhalb des Mittelwertes (MW = 0) der Referenz liegen. Somit ergeben sich kleinere Muskelgrößen des Patientenkollektivs, welche jedoch innerhalb der 1,5 - fachen Standardabweichung der Referenz lagen. Für die paretische Gesichtsseite in Kontraktion wurde die größte negative Abweichung vom Mittelwert der Referenz festgestellt.

### **4.6 Korrelation der Muskelgrößen mit den Patientencharakteristika**

Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Untersuchungen wurde auch der Einfluss von Alter, Körpergröße, Körpergewicht, Body-Mass-Index und Paresedauer auf die Muskelgröße der Patienten untersucht. Dies wurde für Frauen und Männer getrennt durchgeführt und ist in Tab. 4.14 - Tab. 4.19 für die kontralaterale und die paretische Gesichtsseite in Ruhe und Kontraktion sowie für die Muskeldynamik aufgeführt. Die Korrelationskoeffizienten der folgenden sechs Tabellen sind abhängig von der Stärke der Korrelation farblich kodiert. Wie bereits im vorangegangenen Teil der Arbeit soll auch hier das Hauptaugenmerk für den M. mentalis, den M. depressor anguli oris, den M. depressor labii inferioris und den M. zygomaticus major auf den Muskelflächen (A) liegen. LDM und QDM dienen für die genannten Muskeln nur der Vollständigkeit.

#### 4.6.1 Korrelation der Muskelgrößen der kontralateralen Gesichtsseite mit den Patientencharakteristika

Tab. 4.14 zeigt den Einfluss der biometrischen Patientenmerkmale auf die Muskelgröße der kontralateralen Gesichtsseite in Ruhe. Auf Seiten der Männer zeigte sich lediglich eine sehr geringe bis geringe Korrelation. Dabei wies das Alter die stärkste Korrelation mit vier signifikanten Korrelationskoeffizienten auf. Signifikant negativ mit dem Alter korrelierten der M. depressor anguli oris, der M. depressor labii inferioris, der M. zygomaticus major und der M. temporalis. Das bedeutet, dass in diesen Fällen die Muskelgröße mit zunehmendem Alter abnahm.

Im weiblichen Patientenkollektiv fanden sich ebenfalls überwiegend sehr geringe bis geringe Korrelationen. Einzig die Kaumuskulatur korrelierte signifikant mit einzelnen Patientenmerkmalen. So ergab sich für den M. temporalis mit einem Koeffizienten von 0,56 und 0,57 eine mittelstarke Korrelation mit dem Gewicht und dem Body-Mass-Index. Der M. masseter als weiterer Kaumuskel korrelierte signifikant mit der Paresedauer.

**Tab. 4.14: Geschlechtsspezifische Korrelation der kontralateralen Seite in Ruhe zwischen den Muskelgrößen, dem Alter, der Körpergröße, dem Gewicht, dem BMI und der Paresedauer**

Muskel	n	Frauen					Männer					
		Alter r (p)	Größe r (p)	Gewicht r (p)	BMI r (p)	Paresedauer r (p)	Alter r (p)	Körpergröße r (p)	Körpergewicht r (p)	BMI r (p)	Paresedauer r (p)	
M. mentalis A	15	0,33 (0,234)	0,05 (0,852)	-0,32 (0,244)	-0,41 (0,127)	-0,20 (0,494)	38	-0,19 (0,242)	-0,08 (0,615)	-0,05 (0,776)	-0,01 (0,960)	-0,09 (0,609)
M. mentalis LDM	15	0,22 (0,436)	0,02 (0,950)	-0,48 (0,073)	-0,56 (0,029)	-0,33 (0,257)	38	-0,19 (0,248)	-0,14 (0,386)	0,03 (0,869)	0,10 (0,552)	-0,32 (0,056)
M. mentalis QDM	15	0,31 (0,263)	0,24 (0,389)	-0,19 (0,508)	-0,39 (0,150)	-0,09 (0,762)	38	-0,09 (0,597)	-0,03 (0,879)	-0,08 (0,617)	-0,07 (0,674)	0,10 (0,576)
M. d. a. oris A	15	-0,48 (0,073)	-0,17 (0,540)	-0,14 (0,615)	-0,04 (0,884)	0,15 (0,612)	39	-0,43 (0,007)	0,13 (0,420)	0,09 (0,602)	0,01 (0,966)	-0,17 (0,320)
M. d. a. oris LDM	15	-0,17 (0,537)	-0,22 (0,424)	-0,25 (0,376)	-0,11 (0,699)	-0,37 (0,187)	39	-0,21 (0,192)	0,26 (0,105)	0,07 (0,688)	-0,08 (0,622)	0,09 (0,592)
M. d. a. oris QDM	15	-0,01 (0,978)	0,57 (0,026)	0,46 (0,084)	0,11 (0,705)	0,34 (0,229)	39	-0,48 (0,002)	0,08 (0,628)	-0,02 (0,885)	-0,07 (0,653)	-0,28 (0,088)
M. d. l. inf. A	15	-0,29 (0,293)	0,21 (0,456)	-0,07 (0,800)	-0,22 (0,423)	0,09 (0,761)	39	-0,36 (0,023)	0,05 (0,750)	0,17 (0,294)	0,16 (0,339)	-0,16 (0,357)
M. d. l. inf. LDM	15	-0,49 (0,066)	-0,20 (0,475)	-0,27 (0,323)	-0,17 (0,534)	0,10 (0,746)	39	-0,26 (0,116)	0,07 (0,657)	0,01 (0,956)	-0,03 (0,834)	-0,34 (0,041)
M. d. l. inf. QDM	15	-0,50 (0,060)	0,32 (0,252)	0,20 (0,481)	0,01 (0,980)	0,02 (0,944)	39	-0,28 (0,086)	0,13 (0,436)	0,14 (0,396)	0,08 (0,609)	0,11 (0,503)
M. zyg. maj. A	15	-0,30 (0,281)	0,41 (0,127)	0,17 (0,548)	-0,10 (0,712)	0,11 (0,705)	39	-0,33 (0,039)	0,11 (0,516)	-0,10 (0,540)	-0,15 (0,350)	0,08 (0,617)
M. zyg. maj. LDM	15	-0,42 (0,119)	0,25 (0,366)	0,42 (0,118)	0,31 (0,264)	-0,08 (0,792)	39	-0,23 (0,156)	0,25 (0,123)	-0,12 (0,484)	-0,24 (0,134)	0,17 (0,310)
M. zyg. maj. QDM	15	-0,11 (0,699)	0,14 (0,629)	0,04 (0,880)	-0,06 (0,834)	0,20 (0,493)	39	-0,19 (0,243)	-0,10 (0,553)	-0,04 (0,789)	0,01 (0,964)	-0,02 (0,914)
M. frontalis QDM	15	-0,07 (0,812)	0,12 (0,658)	0,18 (0,523)	0,12 (0,662)	0,26 (0,361)	39	0,07 (0,650)	-0,46 (0,004)	0,11 (0,498)	0,39 (0,015)	-0,16 (0,352)
M. orbic. oculi QDM	15	-0,08 (0,787)	0,00 (0,997)	0,16 (0,578)	0,15 (0,585)	0,48 (0,079)	39	-0,27 (0,098)	0,21 (0,195)	0,09 (0,593)	-0,02 (0,926)	0,16 (0,357)
M. orbic. oris QDM	15	0,29 (0,302)	0,04 (0,891)	-0,29 (0,300)	-0,38 (0,166)	0,43 (0,127)	39	-0,05 (0,766)	0,01 (0,955)	-0,09 (0,571)	-0,11 (0,522)	0,01 (0,973)
M. temporalis QDM	15	-0,44 (0,102)	0,11 (0,693)	0,56 (0,029)	0,57 (0,026)	-0,25 (0,392)	39	-0,40 (0,012)	0,01 (0,969)	-0,07 (0,667)	-0,08 (0,648)	-0,27 (0,108)
M. masseter QDM	15	-0,30 (0,284)	0,29 (0,302)	0,35 (0,202)	0,18 (0,522)	0,59 (0,027)	38	-0,20 (0,219)	0,21 (0,205)	0,35 (0,030)	0,26 (0,113)	-0,11 (0,512)
0 <  r  ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation												
0,2 <  r  ≤ 0,5 geringe Korrelation												
0,5 <  r  ≤ 0,7 mittlere Korrelation												

0 < |r| ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation

0,2 < |r| ≤ 0,5 geringe Korrelation

0,5 < |r| ≤ 0,7 mittlere Korrelation

A = Muskelfläche, LDM = Längendurchmesser, QDM = Querdurchmesser, BMI = Body-Mass-Index, r = Korrelationskoeffizient nach Pearson, p = p-Wert. Der p-Wert bewertet die Signifikanz der Korrelation.

## Ergebnisse

Ein sehr ähnliches Bild zeigte sich ebenso für die Korrelation der Muskelgrößen mit den Patientencharakteristika in maximaler Kontraktion, wie in Tab. 4.15 dargestellt. Auch hier wurden im männlichen Kollektiv ausschließlich geringe bis sehr geringe Korrelationen gefunden. Die schwächste Korrelation ergab sich für das Körpergewicht, die stärkste Korrelation, wie auch im Ruhezustand, für das Patientenalter mit drei signifikant negativen Koeffizienten für den M. depressor anguli oris, den M. zygomaticus major und den M. temporalis.

Auf Seiten der Frauen wurde ebenfalls keine große Änderung zum Ruhezustand der Muskulatur festgestellt. Die stärkste Korrelation zeigte sich erneut für die Kaumuskulatur, mit Koeffizienten von 0,54 und 0,56 für das Gewicht und den Body-Mass-Index beim M. temporalis und einem mittelgroßen Koeffizienten von 0,64 für die Paresedauer des M. masseter.

**Tab. 4.15: Geschlechtsspezifische Korrelation der kontralateralen Seite in Kontraktion zwischen den Muskelgrößen, dem Alter, der Körpergröße, dem Gewicht, dem BMI und der Paresedauer**

Muskel	n	Frauen					Männer					
		Alter	Größe	Gewicht	BMI	Paresedauer	Alter	Körpergröße	Körpergewicht	BMI	Paresedauer	
		r (p)	r (p)	r (p)	r (p)	r (p)	r (p)	r (p)	r (p)	r (p)	r (p)	
M. mentalis A	15	0,16 (0,578)	0,05 (0,858)	-0,10 (0,723)	-0,16 (0,577)	0,10 (0,738)	38	-0,10 (0,551)	0,20 (0,219)	0,10 (0,569)	-0,02 (0,884)	-0,17 (0,317)
M. mentalis LDM	15	-0,14 (0,628)	0,17 (0,553)	0,00 (0,996)	-0,13 (0,640)	-0,28 (0,328)	38	-0,11 (0,527)	-0,05 (0,774)	0,09 (0,607)	0,11 (0,507)	-0,29 (0,085)
M. mentalis QDM	15	0,23 (0,405)	-0,02 (0,955)	-0,15 (0,601)	-0,16 (0,571)	0,13 (0,653)	38	0,14 (0,391)	0,25 (0,129)	0,04 (0,831)	-0,11 (0,501)	-0,19 (0,259)
M. d. a. oris A	15	-0,47 (0,077)	-0,17 (0,538)	-0,15 (0,583)	-0,05 (0,849)	0,20 (0,487)	39	-0,37 (0,021)	0,09 (0,589)	0,09 (0,601)	0,04 (0,825)	-0,07 (0,693)
M. d. a. oris LDM	15	-0,54 (0,037)	-0,51 (0,054)	-0,35 (0,198)	-0,04 (0,898)	0,12 (0,672)	39	-0,30 (0,063)	0,09 (0,594)	-0,04 (0,823)	-0,09 (0,570)	0,09 (0,614)
M. d. a. oris QDM	15	-0,19 (0,492)	0,35 (0,205)	0,24 (0,386)	0,02 (0,941)	0,15 (0,614)	39	-0,23 (0,164)	0,04 (0,813)	0,08 (0,627)	0,06 (0,708)	-0,14 (0,407)
M. d. l. inf. A	15	-0,51 (0,052)	-0,04 (0,889)	0,03 (0,906)	0,07 (0,805)	0,27 (0,350)	39	-0,30 (0,062)	-0,05 (0,746)	0,19 (0,257)	0,23 (0,160)	-0,25 (0,141)
M. d. l. inf. LDM	15	-0,40 (0,138)	-0,19 (0,492)	-0,06 (0,839)	0,06 (0,823)	0,28 (0,334)	39	-0,39 (0,014)	-0,06 (0,699)	0,11 (0,514)	0,14 (0,394)	-0,34 (0,042)
M. d. l. inf. QDM	15	-0,32 (0,246)	0,31 (0,258)	0,15 (0,602)	-0,04 (0,894)	0,11 (0,698)	39	-0,07 (0,663)	-0,05 (0,757)	0,08 (0,618)	0,13 (0,432)	-0,14 (0,411)
M. zyg. maj. A	15	-0,22 (0,438)	0,09 (0,739)	0,17 (0,551)	0,13 (0,654)	-0,14 (0,643)	39	-0,46 (0,003)	0,11 (0,519)	0,07 (0,675)	0,01 (0,931)	0,00 (0,997)
M. zyg. maj. LDM	15	-0,29 (0,288)	0,04 (0,895)	0,30 (0,274)	0,33 (0,232)	-0,15 (0,602)	39	-0,31 (0,052)	0,34 (0,034)	0,09 (0,586)	-0,09 (0,574)	0,14 (0,420)
M. zyg. maj. QDM	15	0,11 (0,707)	-0,08 (0,765)	-0,25 (0,375)	-0,23 (0,413)	0,04 (0,889)	39	-0,14 (0,410)	-0,26 (0,115)	0,07 (0,666)	0,21 (0,206)	-0,13 (0,451)
M. frontalis QDM	15	-0,06 (0,820)	-0,12 (0,663)	-0,01 (0,980)	0,09 (0,745)	0,34 (0,238)	39	0,09 (0,566)	-0,28 (0,083)	0,09 (0,606)	0,26 (0,109)	-0,11 (0,520)
M. orbic. oculi QDM	14	0,37 (0,189)	-0,01 (0,970)	-0,12 (0,671)	-0,15 (0,614)	0,10 (0,744)	39	0,00 (0,988)	0,15 (0,350)	-0,03 (0,870)	-0,11 (0,498)	-0,10 (0,545)
M. orbic. oris QDM	15	0,09 (0,748)	0,21 (0,453)	0,05 (0,871)	-0,13 (0,633)	0,31 (0,279)	39	0,14 (0,408)	0,10 (0,557)	-0,16 (0,327)	-0,23 (0,158)	-0,06 (0,713)
M. temporalis QDM	15	-0,47 (0,079)	0,09 (0,755)	0,54 (0,039)	0,56 (0,032)	-0,29 (0,320)	39	-0,44 (0,006)	-0,01 (0,944)	-0,05 (0,747)	-0,04 (0,817)	-0,14 (0,411)
M. masseter QDM	15	-0,26 (0,345)	0,30 (0,284)	0,45 (0,089)	0,29 (0,296)	0,64 (0,015)	38	-0,21 (0,216)	0,13 (0,444)	0,20 (0,223)	0,15 (0,358)	-0,02 (0,903)
0 <  r  ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation												
0,2 <  r  ≤ 0,5 geringe Korrelation												
0,5 <  r  < 0,7 mittlere Korrelation												

0 < |r| ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation

0,2 < |r| ≤ 0,5 geringe Korrelation

0,5 < |r| ≤ 0,7 mittlere Korrelation

A = Muskelfläche, LDM = Längendurchmesser, QDM = Querdurchmesser, BMI = Body-Mass-Index, r = Korrelationskoeffizient nach Pearson, p = p-Wert. Der p-Wert bewertet die Signifikanz der Korrelation.

#### **4.6.2 Korrelation der Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite mit den Patientencharakteristika**

Die folgenden zwei Tabellen zeigen die Korrelation der Patientenmerkmale mit den Muskelgrößen der paretischen Gesichtsseite. Tab. 4.16 gibt diese für die Muskulatur im Ruhezustand an. Auffällig sind hier im männlichen Patientenkollektiv die größeren Koeffizienten beim Alter im Vergleich zur kontralateralen Seite. Bis auf den M. frontalis wiesen alle Muskeln eine negative Korrelation mit dem Alter auf. Der M. depressor anguli oris, der M. depressor labii inferioris und der M. masseter zeigten sogar eine mittelstarke Korrelation mit Koeffizienten zwischen -0,52 und -0,58. Auch der M. temporalis wies abermals eine signifikante Korrelation mit dem Alter auf. Hervorzuheben ist darüber hinaus die signifikante Korrelation des M. masseter nicht nur mit dem Alter, sondern auch der Körpergröße und dem Body-Mass-Index. Diese Korrelation wurde auf der kontralateralen Gesichtsseite nicht gefunden. Für Körpergröße, Körpergewicht, Body-Mass-Index und Paresedauer ergaben sich insgesamt lediglich Korrelationskoeffizienten kleiner als 0,5.

Die Korrelation für das weibliche Geschlecht erwies sich als sehr ähnlich zur kontralateralen Gesichtsseite. Auch die paretische Gesichtsseite der Frauen zeigte für die Kaumuskeln M. temporalis und M. masseter signifikante Korrelationen mit dem Body-Mass-Index ( $r = 0,54$ ) und der Paresedauer ( $r = 0,59$ ). Das Patientenalter korrelierte, bis auf den M. orbicularis oculi, für alle Muskeln schwach negativ mit der Muskelgröße. Lediglich der M. depressor labii inferioris wies, wie auch auf der kontralateralen Gesichtsseite, zusätzlich zur Kaumuskulatur eine mittelstarke Korrelation mit einem Koeffizienten von -0,64 auf. Für die Körpergröße und das Körpergewicht fanden sich keine signifikanten Korrelationen.



## Ergebnisse

**Tab. 4.16: Geschlechtsspezifische Korrelation der paretischen Seite in Ruhe zwischen den Muskelgrößen, dem Alter, der Körpergröße, dem Gewicht, dem BMI und der Paresedauer**

Muskel	n	Frauen					Männer					
		Alter r (p)	Größe r (p)	Gewicht r (p)	BMI r (p)	Parsedauer r (p)	Alter r (p)	Körpergröße r (p)	Körpergewicht r (p)	BMI r (p)	Parsedauer r (p)	
M. mentalis A	15	-0,04 (0,888)	0,05 (0,848)	-0,04 (0,878)	-0,09 (0,756)	-0,33 (0,243)	38	-0,06 (0,712)	-0,26 (0,115)	0,12 (0,460)	0,27 (0,107)	-0,15 (0,385)
M. mentalis LDM	15	0,12 (0,674)	-0,25 (0,371)	-0,43 (0,111)	-0,31 (0,257)	-0,56 (0,038)	38	0,13 (0,426)	-0,31 (0,057)	0,02 (0,908)	0,18 (0,278)	-0,25 (0,149)
M. mentalis QDM	15	0,09 (0,748)	0,04 (0,883)	-0,13 (0,645)	-0,17 (0,551)	-0,29 (0,317)	38	-0,11 (0,498)	-0,03 (0,871)	0,10 (0,563)	0,12 (0,492)	0,07 (0,674)
M. d. a. oris A	15	-0,26 (0,340)	0,27 (0,333)	-0,09 (0,737)	-0,31 (0,265)	-0,18 (0,539)	39	-0,58 (<0,001)	0,06 (0,706)	0,12 (0,485)	0,09 (0,598)	-0,08 (0,631)
M. d. a. oris LDM	15	-0,04 (0,890)	0,20 (0,467)	-0,07 (0,801)	-0,22 (0,436)	-0,29 (0,313)	39	-0,35 (0,032)	0,14 (0,407)	-0,08 (0,641)	-0,16 (0,335)	-0,27 (0,108)
M. d. a. oris QDM	15	-0,43 (0,111)	0,20 (0,469)	-0,02 (0,942)	-0,18 (0,519)	0,06 (0,847)	39	-0,55 (<0,001)	-0,08 (0,627)	0,22 (0,175)	0,28 (0,081)	0,10 (0,559)
M. d. l. inf. A	15	-0,64 (0,010)	-0,30 (0,269)	-0,38 (0,163)	-0,22 (0,430)	0,27 (0,349)	39	-0,52 (0,001)	-0,09 (0,604)	0,17 (0,306)	0,25 (0,131)	-0,04 (0,825)
M. d. l. inf. LDM	15	-0,46 (0,088)	0,07 (0,798)	-0,26 (0,356)	-0,34 (0,209)	0,18 (0,546)	39	-0,22 (0,175)	0,11 (0,486)	-0,16 (0,345)	-0,22 (0,172)	0,17 (0,312)
M. d. l. inf. QDM	15	0,11 (0,700)	0,29 (0,298)	0,17 (0,543)	-0,03 (0,929)	-0,09 (0,771)	39	-0,53 (0,001)	-0,12 (0,474)	0,38 (0,017)	0,49 (0,002)	-0,04 (0,814)
M. zyg. maj. A	15	-0,28 (0,313)	0,32 (0,245)	0,28 (0,315)	0,08 (0,774)	0,07 (0,819)	39	-0,08 (0,634)	0,39 (0,015)	0,12 (0,452)	-0,09 (0,600)	0,24 (0,145)
M. zyg. maj. LDM	15	-0,09 (0,739)	0,40 (0,140)	0,23 (0,414)	-0,02 (0,938)	-0,23 (0,426)	39	-0,23 (0,155)	0,29 (0,075)	-0,01 (0,964)	-0,17 (0,291)	0,17 (0,304)
M. zyg. maj. QDM	15	-0,38 (0,167)	0,14 (0,622)	-0,03 (0,904)	-0,14 (0,612)	0,12 (0,683)	39	0,16 (0,345)	0,25 (0,128)	0,15 (0,376)	0,01 (0,957)	0,13 (0,445)
M. frontalis QDM	15	-0,27 (0,324)	0,47 (0,080)	0,35 (0,201)	0,06 (0,841)	0,41 (0,150)	39	0,29 (0,074)	-0,30 (0,063)	0,07 (0,687)	0,25 (0,133)	-0,09 (0,615)
M. orbic. oculi QDM	15	0,26 (0,358)	0,19 (0,499)	0,16 (0,560)	0,04 (0,896)	-0,13 (0,660)	39	-0,15 (0,376)	0,35 (0,029)	0,04 (0,826)	-0,16 (0,334)	-0,02 (0,924)
M. orbic. oris QDM	15	-0,15 (0,586)	0,42 (0,121)	0,39 (0,155)	0,12 (0,676)	0,27 (0,352)	39	-0,05 (0,759)	-0,04 (0,828)	-0,17 (0,315)	-0,15 (0,347)	0,12 (0,469)
M. temporalis QDM	15	-0,14 (0,621)	-0,28 (0,310)	0,30 (0,277)	0,54 (0,036)	-0,34 (0,240)	39	-0,34 (0,037)	0,06 (0,733)	0,10 (0,535)	0,08 (0,609)	-0,18 (0,284)
M. masseter QDM	15	-0,44 (0,097)	0,20 (0,476)	0,38 (0,162)	0,28 (0,320)	0,59 (0,027)	38	-0,55 (<0,001)	0,02 (0,926)	0,35 (0,031)	0,36 (0,025)	-0,28 (0,093)
		0 <  r  ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation					0,2 <  r  ≤ 0,5 geringe Korrelation			0,5 <  r  ≤ 0,7 mittlere Korrelation		

0 < |r| ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation
0,2 < |r| ≤ 0,5 geringe Korrelation
0,5 < |r| ≤ 0,7 mittlere Korrelation

A = Muskelfläche, LDM = Längendurchmesser, QDM = Querdurchmesser, BMI = Body-Mass-Index, r = Korrelationskoeffizient nach Pearson, p = p-Wert. Der p-Wert bewertet die Signifikanz der Korrelation.

Nachdem die Korrelation der paretischen Gesichtsseite in Ruhe betrachtet wurde, soll diese nun in Tab. 4.17 für die maximale Muskelkontraktion zusammengefasst werden. Auch in Kontraktion zeigte sich die stärkste signifikante Korrelation der Muskelgrößen mit dem Alter. Die Korrelationskoeffizienten bewegten sich zwar unterhalb von 0,48 und damit nur im Bereich einer geringen Korrelation, dennoch ergaben sich für den M. depressor anguli oris, den M. depressor labii inferioris, den M. zygomaticus major und den M. masseter signifikante Korrelationen. Wie auch im Ruhezustand wiesen die Koeffizienten aller Muskeln, bis auf den M. frontalis, negative Vorzeichen auf und zeigten damit eine mit dem Alter abnehmende Größe an. Auch der M. masseter korrelierte signifikant, wie in Ruhe, sowohl mit dem Alter, als auch der Körpergröße und dem Body-Mass-Index. Für die Körpergröße, das Körpergewicht, den Body-Mass-Index und die Paresedauer wurden für alle anderen Muskeln lediglich geringe bis sehr geringe Korrelationen gefunden.

Das weibliche Patientenkollektiv wies für die Korrelation der Muskelgrößen in Kontraktion keine Ähnlichkeiten zu beiden Gesichtsseiten in Ruhe auf. Zwar ergaben sich im Gegensatz zu den männlichen Patienten vier mittelstarke Korrelationskoeffizienten, zwei dieser vier waren jedoch ohne ersichtliche Relevanz verteilt. Einzig der M. masseter zeigte auffällige Korrelationen mit einem Koeffizienten von -0,5 für das Alter, gering positiven Korrelationen für Körpergröße, Körpergewicht und Body-Mass-Index sowie einem Koeffizienten von 0,52

## Ergebnisse

für die Paresedauer. Diese mittelstarke Korrelation des M. masseter mit der Paresedauer fand sich auch in Ruhe auf der paretischen sowie in Ruhe und Kontraktion auf der kontralateralen Gesichtsseite. Darüber hinaus wurden nur geringe bis sehr geringe Korrelationen festgestellt.

**Tab. 4.17: Geschlechtsspezifische Korrelation der paretischen Seite in Kontraktion zwischen den Muskelgrößen, dem Alter, der Körpergröße, dem Gewicht, dem BMI und der Paresedauer**

Muskel	n	Frauen					Männer					
		Alter r (p)	Größe r (p)	Gewicht r (p)	BMI r (p)	Parsedauer r (p)	Alter r (p)	Körpergröße r (p)	Körpergewicht r (p)	BMI r (p)	Parsedauer r (p)	
M. mentalis A	15	-0.14 (0,610)	0.37 (0,171)	0.19 (0,495)	-0.06 (0,839)	-0.05 (0,868)	38	-0.06 (0,717)	0.24 (0,152)	0.18 (0,290)	0.04 (0,789)	-0.11 (0,540)
M. mentalis LDM	15	-0.02 (0,939)	0.41 (0,124)	0.12 (0,672)	-0.18 (0,513)	-0.17 (0,551)	38	-0.13 (0,428)	0.08 (0,625)	0.14 (0,418)	0.09 (0,589)	-0.06 (0,711)
M. mentalis QDM	15	-0.02 (0,953)	-0.02 (0,946)	0.07 (0,808)	0.09 (0,739)	0.04 (0,903)	38	0.11 (0,527)	0.16 (0,351)	0.08 (0,622)	-0.01 (0,967)	0.02 (0,894)
M. d. a. oris A	15	-0.29 (0,300)	-0.01 (0,986)	-0.26 (0,350)	-0.30 (0,282)	-0.02 (0,945)	39	-0.47 (0.003)	0.03 (0,836)	-0.01 (0,934)	-0.03 (0,845)	-0.08 (0,650)
M. d. a. oris LDM	15	-0.13 (0,640)	-0.15 (0,600)	-0.18 (0,528)	-0.09 (0,756)	-0.09 (0,760)	39	-0.17 (0,303)	0.24 (0,148)	-0.19 (0,254)	-0.34 (0.035)	0.02 (0,914)
M. d. a. oris QDM	15	-0.29 (0,291)	0.35 (0,195)	-0.10 (0,731)	-0.38 (0,166)	0.14 (0,638)	39	-0.39 (0.013)	-0.11 (0,516)	0.03 (0,874)	0.09 (0,579)	0.04 (0,819)
M. d. l. inf. A	15	-0.46 (0,082)	-0.06 (0,832)	-0.24 (0,382)	-0.24 (0,398)	-0.01 (0,982)	39	-0.35 (0.029)	-0.09 (0,589)	0.09 (0,591)	0.16 (0,342)	-0.08 (0,635)
M. d. l. inf. LDM	15	-0.32 (0,248)	-0.01 (0,970)	-0.23 (0,409)	-0.25 (0,375)	0.02 (0,938)	39	0.06 (0,712)	0.11 (0,507)	-0.16 (0,323)	-0.24 (0,144)	0.01 (0,935)
M. d. l. inf. QDM	15	-0.13 (0,643)	-0.04 (0,877)	-0.22 (0,433)	-0.22 (0,435)	-0.26 (0,378)	39	-0.46 (0.003)	-0.26 (0,108)	0.28 (0,086)	0.46 (0.004)	-0.16 (0,333)
M. zyg. maj. A	15	-0.18 (0,525)	0.25 (0,369)	0.08 (0,782)	-0.10 (0,721)	-0.22 (0,452)	39	-0.40 (0.012)	0.31 (0,052)	0.33 (0.042)	0.18 (0,274)	0.14 (0,408)
M. zyg. maj. LDM	15	0.15 (0,601)	0.53 (0.043)	0.27 (0,334)	-0.09 (0,756)	-0.19 (0,508)	39	-0.45 (0.004)	0.47 (0.003)	0.22 (0,173)	-0.04 (0,823)	0.12 (0,488)
M. zyg. maj. QDM	15	-0.24 (0,399)	-0.14 (0,628)	0.04 (0,898)	0.12 (0,661)	0.02 (0,936)	39	-0.16 (0,327)	0.14 (0,389)	0.29 (0,069)	0.24 (0,142)	0.27 (0,107)
M. frontalis QDM	15	-0.27 (0,337)	0.28 (0,310)	0.33 (0,226)	0.17 (0,536)	0.55 (0.041)	39	0.24 (0,133)	-0.08 (0,611)	0.09 (0,568)	0.16 (0,325)	-0.16 (0,339)
M. orbic. oculi QDM	15	0.21 (0,460)	-0.08 (0,776)	-0.21 (0,443)	-0.19 (0,486)	-0.04 (0,891)	38	-0.16 (0,339)	0.13 (0,422)	0.07 (0,660)	0.01 (0,945)	-0.08 (0,650)
M. orbic. oris QDM	15	0.06 (0,838)	0.50 (0,059)	-0.07 (0,803)	-0.45 (0,089)	0.18 (0,533)	39	-0.04 (0,803)	0.18 (0,269)	0.05 (0,748)	-0.05 (0,760)	0.01 (0,975)
M. temporalis QDM	15	-0.17 (0,537)	-0.08 (0,790)	0.26 (0,353)	0.35 (0,203)	-0.23 (0,430)	39	-0.25 (0,121)	0.12 (0,458)	0.15 (0,356)	0.10 (0,562)	-0.10 (0,571)
M. masseter QDM	15	-0.50 (0,057)	0.24 (0,388)	0.41 (0,130)	0.28 (0,312)	0.52 (0,058)	38	-0.41 (0.010)	-0.01 (0,957)	0.36 (0.029)	0.39 (0.017)	-0.30 (0,075)
0 <  r  ≤ 0.2 sehr geringe Korrelation												
0.2 <  r  ≤ 0.5 geringe Korrelation												
0.5 <  r  ≤ 0.7 mittlere Korrelation												

0 < |r| ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation

0,2 < |r| ≤ 0,5 geringe Korrelation

0,5 < |r| ≤ 0,7 mittlere Korrelation

A = Muskelfläche, LDM = Längendurchmesser, QDM = Querdurchmesser, BMI = Body-Mass-Index, r = Korrelationskoeffizient nach Pearson, p = p-Wert. Der p-Wert bewertet die Signifikanz der Korrelation.

### 4.6.3 Korrelation der Muskeldynamik mit den Patientencharakteristika

Nachdem in Tab. 4.14 - Tab. 4.17 die biometrischen Patientenmerkmale mit den absoluten Muskelgrößen korreliert wurden, soll in Tab. 4.18 und Tab. 4.19 die Korrelation mit der Muskeldynamik betrachtet werden.

Tab. 4.18 zeigt die Korrelation der Muskeldynamik für die kontralaterale Gesichtsseite. Im Gegensatz zu den absoluten Muskelgrößen korrelierte die Muskeldynamik der männlichen Patienten nicht negativ mit dem Alter. Es fanden sich lediglich Koeffizienten kleiner als  $|r| \leq 0,27$  für die Korrelation mit dem Alter. Die einzig signifikanten Korrelationen wiesen der M. temporalis mit der Paresedauer sowie der M. mentalis mit der Körpergröße auf.

Auch das weibliche Patientenkollektiv zeigte für die Korrelation mit der Muskeldynamik keine Ähnlichkeit zu der Korrelation der absoluten Muskelgrößen. Die Dynamik wies zwar größere Korrelationskoeffizienten auf, diese schienen aber zufällig verteilt. Die stärkste Korrelation ergab sich für den LDM des M. mentalis mit signifikanten Koeffizienten für das Körpergewicht und den Body-Mass-Index sowie einer mittelstarken Korrelation der Fläche mit der

## Ergebnisse

Paresedauer. Des Weiteren signifikant zeigte sich die Korrelation des M. zygomaticus major und des M. frontalis mit dem Körpergewicht. Eine geringe bis sehr geringe Korrelation wies das Patientenalter mit der Muskeldynamik auf. Ebenso gering korrelierte die Muskeldynamik mit der Körpergröße. Das Körpergewicht, der Body-Mass-Index und die Paresedauer zeigten sowohl positive als auch negative Korrelationen und ließen keinen Zusammenhang mit der Muskeldynamik erkennen.

**Tab. 4.18: Geschlechtsspezifische Korrelation auf der kontralateralen Seite zwischen der Muskeldynamik, dem Alter, der Körpergröße, dem Gewicht, dem BMI und der Paresedauer**

Muskel	n	Frauen					Männer					
		Alter r (p)	Größe r (p)	Gewicht r (p)	BMI r (p)	Parsedauer r (p)	Alter r (p)	Körpergröße r (p)	Körpergewicht r (p)	BMI r (p)	Parsedauer r (p)	
M. mentalis A	15	-0,19 (0,504)	0,01 (0,958)	0,45 (0,096)	0,49 (0,061)	0,52 (0,055)	38	0,14 (0,393)	0,37 (0,023)	0,14 (0,389)	-0,07 (0,698)	-0,11 (0,535)
M. mentalis LDM	15	-0,35 (0,194)	0,10 (0,714)	0,58 (0,022)	0,59 (0,021)	0,22 (0,459)	38	0,10 (0,542)	0,11 (0,523)	0,00 (0,983)	-0,06 (0,719)	0,10 (0,546)
M. mentalis QDM	15	-0,01 (0,971)	-0,28 (0,315)	0,04 (0,888)	0,25 (0,371)	0,27 (0,353)	38	0,24 (0,153)	0,25 (0,123)	0,09 (0,571)	-0,06 (0,737)	-0,26 (0,119)
M. d. a. oris A	15	-0,32 (0,250)	-0,05 (0,861)	-0,11 (0,698)	-0,08 (0,766)	0,21 (0,475)	39	0,02 (0,885)	-0,02 (0,890)	0,07 (0,673)	0,09 (0,571)	0,12 (0,486)
M. d. a. oris LDM	15	-0,48 (0,069)	-0,34 (0,213)	-0,11 (0,702)	0,11 (0,689)	0,42 (0,096)	39	-0,21 (0,203)	-0,08 (0,627)	-0,04 (0,795)	-0,01 (0,974)	0,05 (0,781)
M. d. a. oris QDM	15	-0,31 (0,257)	-0,13 (0,655)	-0,14 (0,625)	-0,07 (0,818)	-0,05 (0,853)	39	0,19 (0,237)	-0,02 (0,884)	0,10 (0,537)	0,13 (0,445)	0,09 (0,578)
M. d. l. inf. A	15	-0,34 (0,221)	-0,27 (0,322)	0,14 (0,613)	0,36 (0,191)	0,20 (0,498)	39	0,07 (0,691)	-0,15 (0,355)	0,01 (0,930)	0,10 (0,547)	-0,15 (0,369)
M. d. l. inf. LDM	15	0,20 (0,486)	0,05 (0,856)	0,34 (0,212)	0,35 (0,203)	0,26 (0,370)	39	-0,10 (0,536)	-0,10 (0,556)	0,16 (0,331)	0,22 (0,188)	0,03 (0,856)
M. d. l. inf. QDM	15	0,07 (0,813)	0,05 (0,846)	0,02 (0,936)	-0,01 (0,982)	0,10 (0,735)	39	0,17 (0,292)	-0,14 (0,384)	-0,07 (0,667)	0,01 (0,955)	-0,24 (0,147)
M. zyg. maj. A	15	-0,34 (0,228)	0,17 (0,541)	-0,60 (0,019)	-0,09 (0,738)	-0,34 (0,228)	39	0,01 (0,965)	0,02 (0,921)	0,25 (0,126)	0,23 (0,152)	-0,16 (0,348)
M. zyg. maj. LDM	15	0,46 (0,084)	-0,46 (0,087)	-0,46 (0,082)	-0,20 (0,477)	-0,07 (0,814)	39	-0,05 (0,769)	0,05 (0,758)	0,31 (0,053)	0,28 (0,088)	-0,13 (0,446)
M. zyg. maj. QDM	15	0,20 (0,464)	-0,28 (0,312)	-0,23 (0,406)	-0,06 (0,834)	-0,12 (0,688)	39	0,05 (0,746)	-0,12 (0,477)	0,08 (0,646)	0,14 (0,403)	-0,08 (0,653)
M. frontalis QDM	15	0,21 (0,459)	-0,44 (0,105)	-0,52 (0,046)	-0,29 (0,302)	0,06 (0,835)	39	0,03 (0,857)	0,30 (0,062)	-0,10 (0,540)	-0,27 (0,091)	0,11 (0,511)
M. orbic. oculi QDM	14	0,24 (0,413)	-0,01 (0,983)	-0,39 (0,171)	-0,41 (0,141)	-0,40 (0,174)	39	0,27 (0,094)	-0,04 (0,786)	-0,13 (0,421)	-0,12 (0,467)	-0,27 (0,102)
M. orbic. oris QDM	15	-0,09 (0,746)	0,18 (0,525)	0,34 (0,221)	0,24 (0,390)	-0,20 (0,489)	39	0,27 (0,100)	0,11 (0,502)	-0,13 (0,445)	-0,20 (0,213)	-0,12 (0,463)
M. temporalis QDM	15	0,18 (0,520)	-0,14 (0,630)	-0,37 (0,175)	-0,34 (0,221)	0,00 (0,989)	39	0,19 (0,248)	-0,06 (0,726)	0,07 (0,678)	0,12 (0,478)	0,34 (0,039)
M. masseter QDM	15	0,27 (0,338)	-0,13 (0,635)	0,01 (0,971)	0,11 (0,700)	-0,20 (0,501)	38	-0,03 (0,868)	-0,24 (0,143)	-0,33 (0,046)	-0,20 (0,224)	0,17 (0,331)
0 <  r  ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation												
0,2 <  r  ≤ 0,5 geringe Korrelation												
0,5 <  r  ≤ 0,7 mittlere Korrelation												

0 < |r| ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation

0,2 < |r| ≤ 0,5 geringe Korrelation

0,5 < |r| ≤ 0,7 mittlere Korrelation

A = Muskelfläche, LDM = Längendurchmesser, QDM = Querdurchmesser, BMI = Body-Mass-Index, r = Korrelationskoeffizient nach Pearson, p = p-Wert. Der p-Wert bewertet die Signifikanz der Korrelation.

In Tab. 4.19 ist die Korrelation der Muskeldynamik für die paretische Gesichtseite dargestellt. Die männlichen Patienten ließen auch hier aufgrund der gemischt positiven und negativen Koeffizienten keinen generellen Zusammenhang der Muskeldynamik mit dem Alter erkennen, obwohl sich drei der Korrelationskoeffizienten als signifikant erwiesen. Hierzu zählten der M. depressor anguli oris mit einer schwach positiven Korrelation, der M. zygomaticus major mit einer schwach negativen Korrelation und der M. masseter, dessen Korrelationskoeffizient sogar eine mittelstarke Korrelation aufwies. Ebenfalls uneinheitlich stellte sich, trotz signifikanter Koeffizienten des M. mentalis und des M. zygomaticus major, die Korrelation der Muskeldynamik mit der Körpergröße dar. Sowohl das Körpergewicht, der Body-Mass-Index als auch die Paresedauer zeigten lediglich geringe bis sehr geringe Korrelationen ohne signifikante Koeffizienten.

## Ergebnisse

Auf Seiten der Frauen wurden größere Korrelationskoeffizienten gefunden. Besonders der M. mentalis zeigte mittelstarke, signifikante Korrelationen der Dynamik des LDM mit der Körpergröße und dem Körpergewicht, sowie Koeffizienten von 0,64 und 0,63 für die Korrelation der Fläche und des LDM mit der Paresedauer. Eine signifikant negative Korrelation zeigte hingegen der M. frontalis mit der Körpergröße. Weiterhin signifikant mit einer mittelstarken negativen Korrelation fand sich der M. orbicularis oris. Für keines der biometrischen Patientenmerkmale konnte somit eine auffällige Korrelation mit der Muskeldynamik festgestellt werden.

**Tab. 4.19: Geschlechtsspezifische Korrelation auf der paretischen Seite zwischen der Muskeldynamik, dem Alter, der Körpergröße, dem Gewicht, dem BMI und der Paresedauer**

Muskel	n	Frauen					Männer					
		Alter r (p)	Größe r (p)	Gewicht r (p)	BMI r (p)	Paresedauer r (p)	Alter r (p)	Körpergröße r (p)	Körpergewicht r (p)	BMI r (p)	Paresedauer r (p)	
M. mentalis A	15	-0,13 (0,656)	0,47 (0,075)	0,47 (0,080)	0,17 (0,538)	0,64 (0,014)	38	0,00 (0,985)	0,54 (0,001)	0,02 (0,923)	-0,28 (0,086)	0,06 (0,749)
M. mentalis LDM	15	-0,19 (0,502)	0,53 (0,042)	0,55 (0,034)	0,23 (0,413)	0,63 (0,015)	38	-0,23 (0,169)	0,33 (0,042)	0,07 (0,659)	-0,10 (0,546)	0,16 (0,339)
M. mentalis QDM	15	-0,11 (0,690)	-0,02 (0,939)	0,32 (0,249)	0,37 (0,175)	0,28 (0,324)	38	0,19 (0,256)	0,18 (0,269)	-0,05 (0,763)	-0,16 (0,338)	-0,03 (0,856)
M. d. a. oris A	15	-0,05 (0,853)	-0,38 (0,161)	-0,30 (0,284)	-0,06 (0,831)	0,18 (0,528)	39	0,09 (0,567)	0,00 (0,986)	-0,18 (0,263)	-0,19 (0,242)	0,10 (0,543)
M. d. a. oris LDM	15	-0,15 (0,595)	-0,48 (0,068)	-0,15 (0,599)	0,18 (0,524)	0,34 (0,237)	39	0,21 (0,199)	0,13 (0,438)	-0,12 (0,457)	-0,21 (0,201)	0,30 (0,068)
M. d. a. oris QDM	15	0,17 (0,539)	0,27 (0,335)	-0,06 (0,833)	-0,26 (0,352)	-0,02 (0,951)	39	0,05 (0,782)	-0,12 (0,461)	-0,26 (0,112)	-0,21 (0,208)	-0,09 (0,589)
M. d. l. inf. A	15	0,17 (0,533)	0,38 (0,158)	0,21 (0,457)	-0,04 (0,897)	-0,33 (0,249)	39	0,37 (0,020)	-0,05 (0,753)	-0,19 (0,239)	-0,20 (0,222)	-0,05 (0,788)
M. d. l. inf. LDM	15	0,03 (0,911)	-0,16 (0,581)	-0,01 (0,969)	0,11 (0,684)	-0,22 (0,443)	39	0,27 (0,093)	0,02 (0,919)	0,02 (0,905)	0,00 (0,998)	-0,10 (0,569)
M. d. l. inf. QDM	15	-0,11 (0,702)	-0,04 (0,883)	-0,15 (0,592)	-0,12 (0,662)	-0,26 (0,376)	39	0,24 (0,148)	-0,07 (0,676)	-0,19 (0,238)	-0,18 (0,279)	-0,13 (0,458)
M. zyg. maj. A	15	0,22 (0,423)	-0,07 (0,815)	-0,18 (0,519)	-0,16 (0,561)	-0,24 (0,407)	39	-0,38 (0,018)	-0,38 (0,018)	0,20 (0,231)	0,29 (0,076)	-0,17 (0,329)
M. zyg. maj. LDM	15	0,41 (0,132)	0,08 (0,789)	-0,07 (0,817)	-0,15 (0,589)	0,06 (0,841)	39	-0,19 (0,253)	0,18 (0,283)	0,26 (0,110)	0,17 (0,301)	-0,06 (0,715)
M. zyg. maj. QDM	15	0,25 (0,362)	-0,34 (0,220)	-0,04 (0,876)	0,19 (0,503)	-0,19 (0,520)	39	-0,35 (0,028)	-0,06 (0,720)	0,11 (0,523)	0,15 (0,348)	0,10 (0,549)
M. frontalis QDM	15	0,21 (0,443)	-0,63 (0,012)	-0,27 (0,338)	0,16 (0,575)	0,06 (0,832)	39	-0,15 (0,351)	0,30 (0,060)	-0,07 (0,684)	-0,23 (0,156)	-0,03 (0,845)
M. orbic. oculi QDM	15	-0,14 (0,625)	-0,24 (0,386)	-0,28 (0,310)	-0,14 (0,613)	0,16 (0,584)	38	-0,08 (0,614)	-0,14 (0,396)	0,08 (0,632)	0,18 (0,289)	-0,15 (0,380)
M. orbic. oris QDM	15	0,32 (0,238)	-0,06 (0,819)	-0,52 (0,045)	-0,54 (0,038)	-0,24 (0,412)	39	0,02 (0,894)	0,31 (0,055)	0,27 (0,093)	0,11 (0,514)	-0,09 (0,590)
M. temporalis QDM	15	-0,02 (0,931)	0,47 (0,074)	-0,14 (0,628)	-0,50 (0,060)	0,36 (0,206)	39	0,19 (0,237)	0,12 (0,485)	0,06 (0,698)	0,00 (0,977)	0,17 (0,325)
M. masseter QDM	15	-0,16 (0,562)	0,18 (0,516)	0,09 (0,751)	-0,03 (0,921)	-0,25 (0,389)	38	0,51 (0,001)	-0,08 (0,621)	-0,14 (0,396)	-0,10 (0,565)	0,05 (0,752)
0 <  r  ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation												
0,2 <  r  ≤ 0,5 geringe Korrelation												
0,5 <  r  ≤ 0,7 mittlere Korrelation												

0 < |r| ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation
0,2 < |r| ≤ 0,5 geringe Korrelation
0,5 < |r| ≤ 0,7 mittlere Korrelation

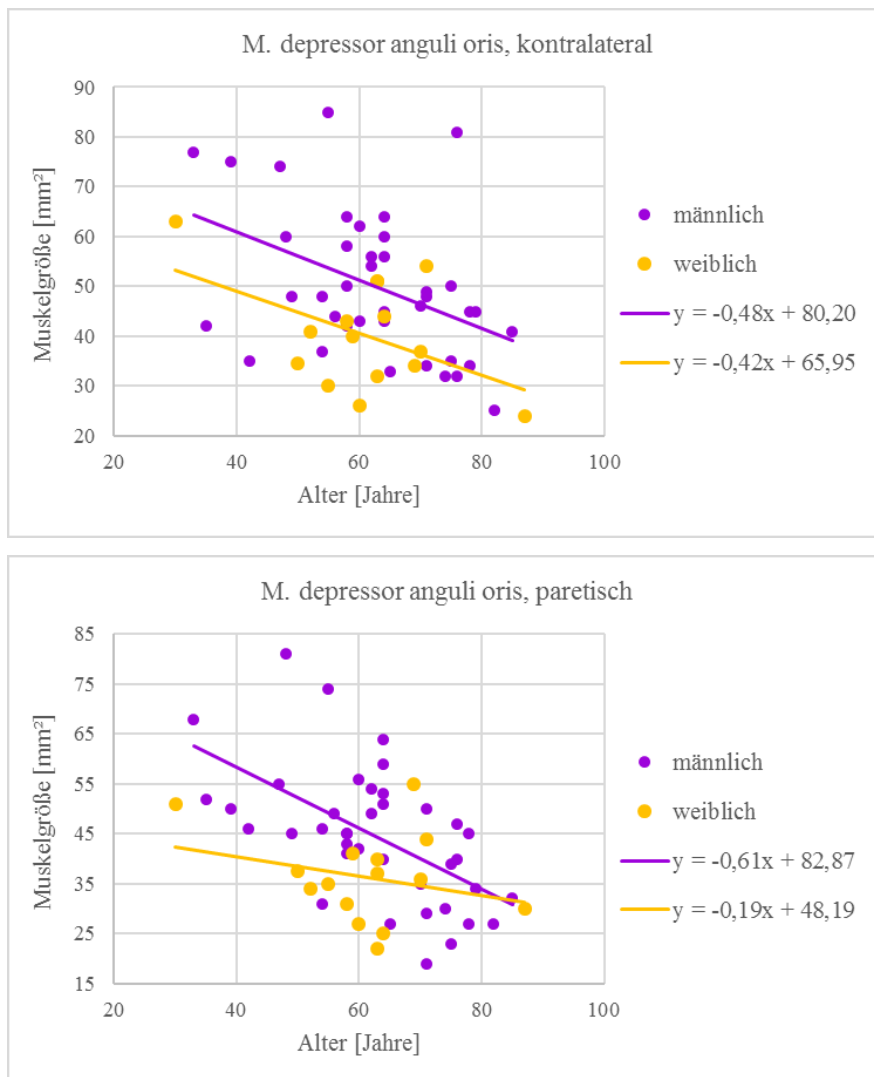
A = Muskelfläche, LDM = Längendurchmesser, QDM = Querdurchmesser, BMI = Body-Mass-Index, r = Korrelationskoeffizient nach Pearson, p = p-Wert. Der p-Wert bewertet die Signifikanz der Korrelation.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die Korrelationen der absoluten Muskelgrößen sowie der Muskeldynamik mit den entsprechenden biometrischen Patientenmerkmalen lediglich im sehr geringen bis mittleren Bereich bewegten und Koeffizienten von  $|r| < 0,5$  aufwiesen. Dabei zeigte sich für die Korrelation ein deutlicher Unterschied zwischen den Geschlechtern. Während im männlichen Patientenkollektiv die stärkste negative Korrelation der absoluten Muskelgrößen für das Patientenalter gefunden wurde, ergaben sich auf Seiten der Frauen die größten Koeffizienten für die Korrelation des M. masseter mit der Paresedauer, sowie auf der kontralateralen Gesichtsseite des M. temporalis mit dem Körpergewicht und dem Body-Mass-Index. Die Muskeldynamik wies hingegen keine auffälligen Korrelationen auf. Generell zeigten sich im weiblichen Patientenkollektiv die größeren Korrelationskoeffizienten,

## Ergebnisse

welche oft jedoch aufgrund des geringeren Stichprobenumfanges im Gegensatz zum männlichen Kollektiv keine statistische Signifikanz aufwiesen.

Dies soll in Abb. 4.2 exemplarisch am Beispiel des M. depressor anguli oris verdeutlicht werden. Dargestellt sind die Muskelgrößen im Ruhezustand als Funktion des Patientenalters mit den entsprechenden Regressionsgeraden beider Geschlechter. Trotz ähnlich negativem Anstieg der Regressionsgeraden bei Männern und Frauen auf der kontralateralen Seite erwies sich lediglich beim männlichen Kollektiv die Abnahme der Muskelgröße um 4,8 mm<sup>2</sup> pro Dekade als signifikant ( $p = 0,007$ ). Auf der paretischen Gesichtsseite zeigte sich für die Männer abermals ein deutlich negativer Anstieg der Regressionsgeraden bei signifikantem Korrelationskoeffizient ( $p < 0,001$ ). Das weibliche Geschlecht hingegen wies einen wesentlich flacheren Anstieg der Regressionsgeraden mit schwacher, nicht signifikanter Korrelation auf.



**Abb. 4.2:** Geschlechtsspezifische Regressionsgeraden für die Korrelation der Muskelgröße und des Alters

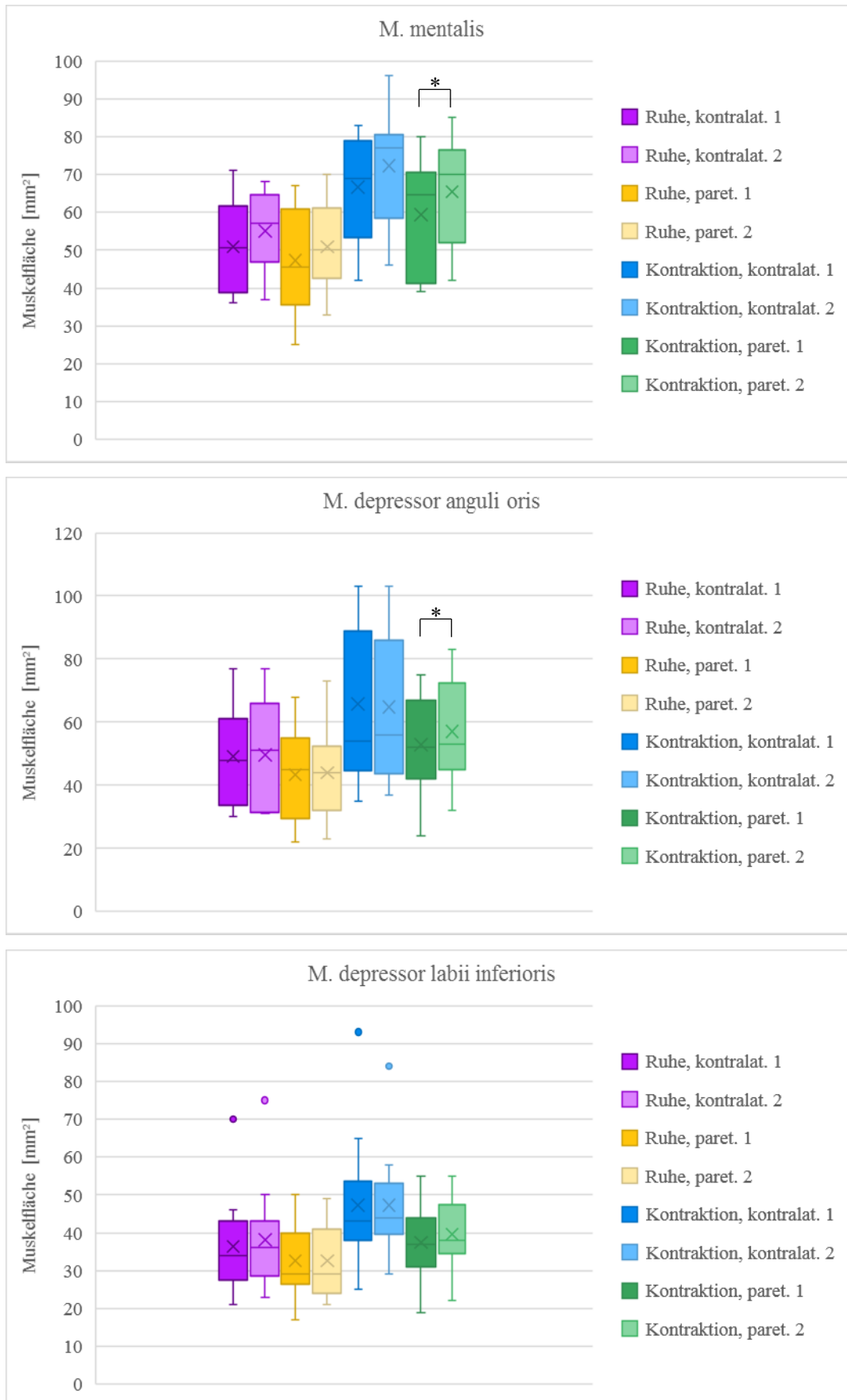
#### **4.7 Vergleich der Muskelgrößen zwischen erster und zweiter Sonografie**

Es wurde bei 13 der 54 untersuchten Patienten eine zweite Sonografie nach 5 – 35 Tagen durchgeführt, um mögliche Größenänderungen der Gesichtsmuskeln im Verlauf der Rehabilitation feststellen zu können.

Für keinen der untersuchten Muskeln zeigte sich eine signifikante Größenabnahme der Gesichtsmuskulatur zum Zeitpunkt der zweiten Sonografie. Im Gegenteil, einige der von der zentralen Fazialisparese betroffenen Gesichtsmuskeln wiesen eine signifikante Größenzunahme auf. So vergrößerten sich die Muskelflächen des M. mentalis ( $p = 0,044$ ) und des M. depressor anguli oris ( $p = 0,009$ ) auf der paretischen Gesichtsseite in Kontraktion gegenüber des ersten Sonografiezeitpunktes. Der M. zygomaticus major und der M. orbicularis oculi wurden sowohl in Ruhe als auch in Kontraktion während der zweiten Sonografie auf der paretischen Seite signifikant größer gemessen. Einziger mimischer Muskel, der neben einer Größenzunahme der Muskulatur der paretischen Gesichtsseite in Ruhe auch eine signifikante Zunahme der kontralateralen Gesichtsseite aufwies, war der M. frontalis. Für die Kaumuskulatur (M. temporalis und M. masseter) konnte keine signifikante Größenänderung festgestellt werden. Die Muskeldynamik, welche die Differenz der Muskelgrößen in Ruhe und in Kontraktion beschreibt, änderte sich für alle untersuchten Muskeln hingegen nicht signifikant, mit Ausnahme des M. depressor labii inferioris, dessen Muskeldynamik auf der paretischen Seite signifikant zunahm.

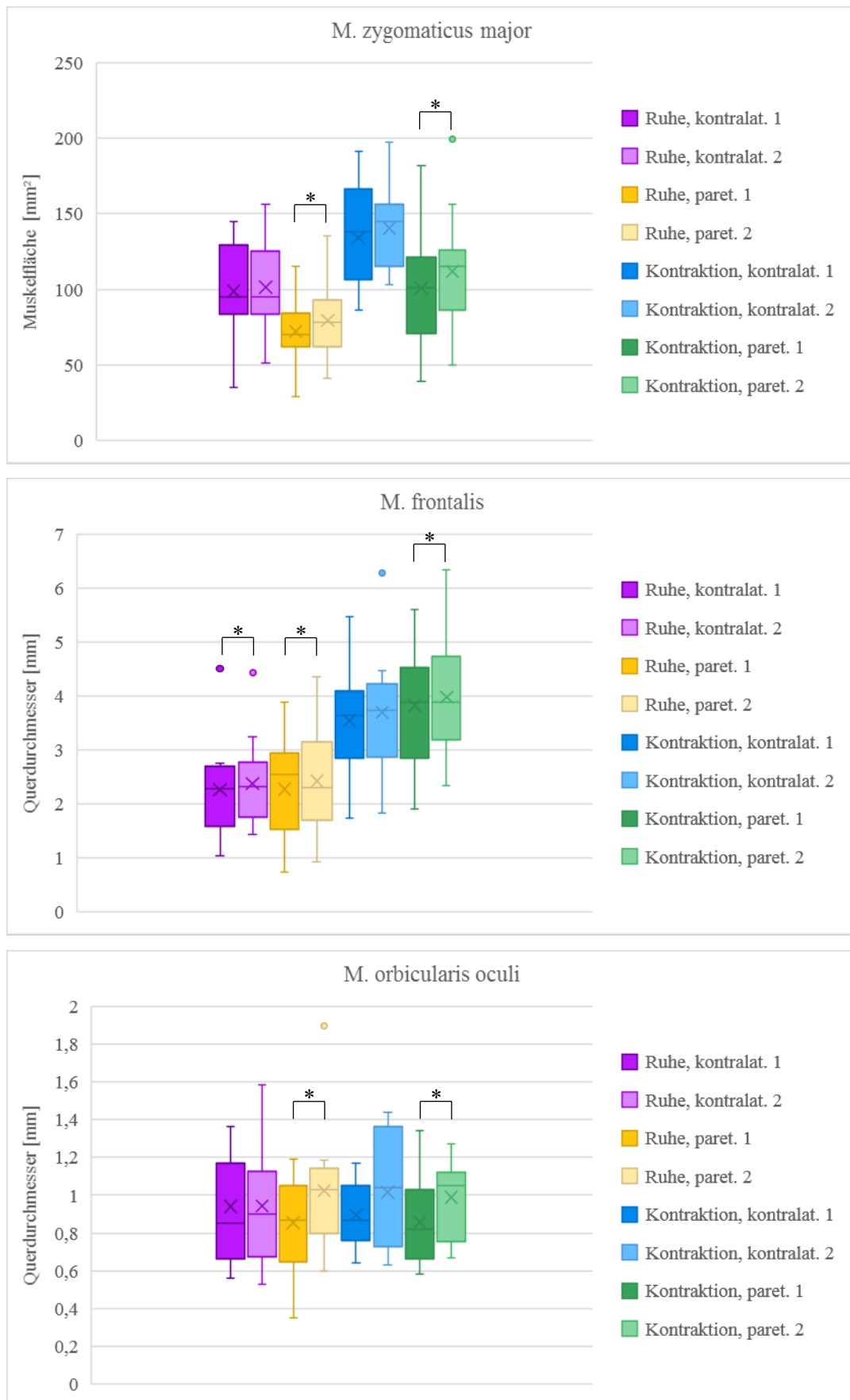
Zur besseren Veranschaulichung der absoluten Muskelgrößen und der signifikanten Größenunterschiede zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Sonografie wurden Box Plots erstellt (Abb. 4.3 - Abb. 4.5).

## Ergebnisse



**Abb. 4.3: Vergleich der Muskelgrößen zwischen erster (1) und zweiter (2) Sonografie**  
Mittelwerte sind durch Kreuze markiert. Sternchen markieren signifikante Größenunterschiede zwischen erster und zweiter Sonografie.

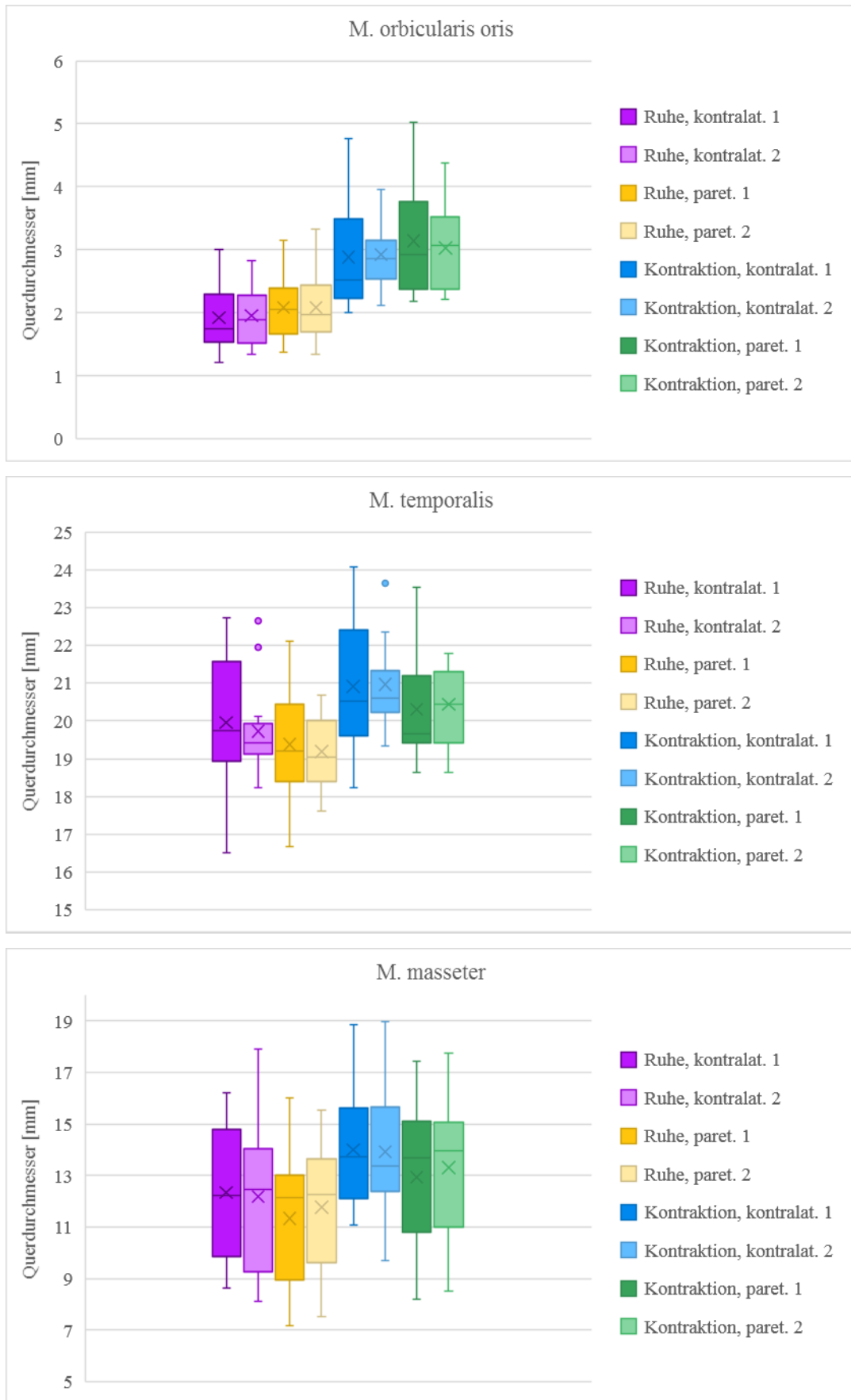
## Ergebnisse



**Abb. 4.4: Vergleich der Muskelgrößen zwischen erster (1) und zweiter (2) Sonografie**  
Mittelwerte sind durch Kreuze markiert. Sternchen markieren signifikante Größenunterschiede zwischen erster und zweiter Sonografie.



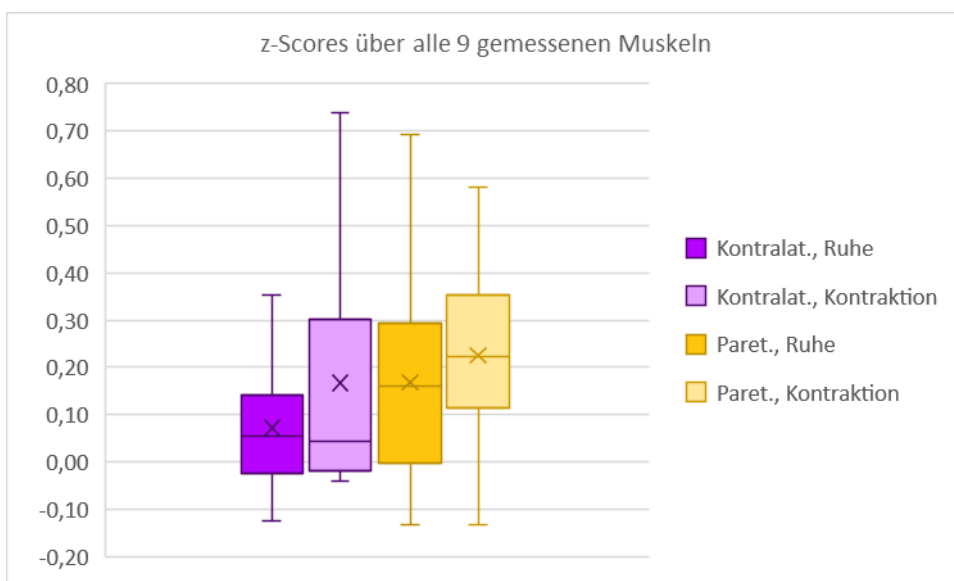
## Ergebnisse



**Abb. 4.5: Vergleich der Muskelgrößen zwischen erster (1) und zweiter (2) Sonografie**  
Mittelwerte sind durch Kreuze markiert. Sternchen markieren signifikante Größenunterschiede zwischen erster und zweiter Sonografie.

## Ergebnisse

Um die absoluten Muskelgrößen zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Sonografie nicht nur für alle gemessenen Muskeln getrennt zu betrachten, sondern diese auch miteinander vergleichen zu können, wurden die absoluten Muskelgrößen mittels z-Transformation in z-Werte umgerechnet und in Abb. 4.6 grafisch dargestellt. Somit konnten die Muskelgrößen der zweiten Sonografie in Bezug zu dem Mittelwert der ersten Sonografie gesetzt werden, welche hier als Referenz galt. Mittels Boxplot konnte damit festgestellt werden, um wie viele Standardabweichungen der Mittelwert der Muskelgrößen zum Zeitpunkt der zweiten Sonografie oberhalb oder unterhalb des Mittelwertes (MW = 0) der Muskelgrößen zum Zeitpunkt der ersten Sonografie lag.



**Abb. 4.6: z-Scores der Muskelgrößen zum Zeitpunkt der 2. Sonografie**  
Mittelwerte sind durch Kreuze markiert.

Anhand des Box Plots in Abb. 4.6 ist zu erkennen, dass die Muskelgrößen zum Zeitpunkt der zweiten Sonografie auf der kontralateralen und der paretischen Gesichtsseite sowohl in Ruhe als auch in Kontraktion leicht größer gemessen wurden als zum ersten Untersuchungszeitpunkt. Die Mittelwerte der zweiten Messreihe bewegten sich zwischen 0 und 0,3 Standardabweichungen der ersten Messung. Dabei fiel auf, dass die Muskelgrößen auf der paretischen Gesichtsseite stärker positiv vom Mittelwert der ersten Sonografie abweichen. Die Gesichtsmuskeln nahmen also im Verlauf der Rehabilitation im Schnitt in ihrer Größe zu.

#### 4.8 Korrelation der Größenänderung der Gesichtsmuskulatur im Verlauf mit Patientencharakteristika am Beispiel des M. zygomaticus major

Nachdem festgestellt wurde, dass sich im Rahmen der Stichprobe aus 13 Probanden einige Muskeln zum Zeitpunkt der zweiten Sonografie signifikant größer zeigten, sollte untersucht werden, ob diese Größenzunahme mit bestimmten Patientencharakteristika korrelierte. Dazu wurde exemplarisch nach Korrelationen des M. zygomaticus major mit dem Alter, der Körpergröße, dem Körpergewicht, dem Body-Mass-Index sowie der Paresedauer gesucht. Die Ergebnisse sind in Tab. 4.20 dargestellt.

Zu erkennen ist eine geringe bis mittlere Korrelation der Muskelgrößenzunahme mit dem Alter. Diese korrelierte signifikant positiv mit der Größenzunahme der kontralateralen Gesichtsseite in Ruhe und in Kontraktion, sodass die Größenzunahme des M. zygomaticus major im Verlauf der Rehabilitation mit steigendem Patientenalter stärker ausfiel. Die Körpergröße und der Body-Mass-Index zeigten keine signifikante Korrelation. Auch das Körpergewicht ließ keinen eindeutigen Zusammenhang mit der Größenzunahme des M. zygomaticus major erkennen. Lediglich die Paresedauer ließ mit signifikanten Korrelationskoeffizienten zwischen 0,36 und 0,66 der kontralateralen Gesichtsseite in Kontraktion darauf schließen, dass die Muskulatur mit steigender Paresedauer im Verlauf der Rehabilitation wieder an Größe zunahm.

**Tab. 4.20: Korrelation der Größenänderung des M. zygomaticus major zw. 1. und 2. Sonografie**

		Alter		Größe		Gewicht		BMI		Paresedauer	
	n	r (p)		r (p)		r (p)		r (p)		r (p)	
Ruhe, kontralat.	13	0,661 (0,014)	0,256 (0,399)	-0,158 (0,605)	-0,376 (0,206)	0,460 (0,114)					
Ruhe, paret.	13	0,429 (0,144)	0,091 (0,769)	-0,349 (0,242)	-0,439 (0,134)	0,446 (0,126)					
Kontraktion, kontr.	13	0,596 (0,032)	0,552 (0,050)	0,348 (0,245)	-0,093 (0,763)	0,656 (0,015)					
Kontraktion, paret.	13	0,349 (0,243)	0,280 (0,354)	0,561 (0,046)	0,349 (0,242)	0,364 (0,221)					

0 < |r| ≤ 0,2 sehr geringe Korrelation

0,2 < |r| ≤ 0,5 geringe Korrelation

0,5 < |r| ≤ 0,7 mittlere Korrelation

BMI = Body-Mass-Index, r = Korrelationskoeffizient nach Pearson, p = p-Wert. Der p-Wert bewertet die Signifikanz der Korrelation.

## **5 Diskussion**

In der vorliegenden Studie sollte der Einfluss einer zentralen Fazialisparese auf ausgewählte mimische Muskeln und Kaumuskeln sonografisch untersucht werden. Bisherige Studien zur Sonografie der Gesichtsmuskulatur beschränkten sich auf die Anwendung bei gesunden Probanden und Patienten mit peripherer Fazialisparese. Im Rahmen dieser Arbeit wurde erstmals eine Ultraschalluntersuchung an 54 Patienten durchgeführt, die aufgrund eines Schlaganfalls eine zentrale Fazialisparese entwickelt hatten. Zunächst wurden die Muskelgrößen der 9 ausgewählten Gesichtsmuskeln auf der paretischen und der zur Parese kontralateralen Gesichtsseite sowohl im Ruhezustand als auch bei maximaler Kontraktion geschlechtsspezifisch bestimmt. Um, als primäres Ziel dieser Arbeit, eine Aussage über den Einfluss einer zentralen Fazialisparese auf die mimische Muskulatur und die Kaumuskulatur im Ruhe- sowie im kontrahierten Zustand treffen zu können, wurden die Muskelgrößen der paretischen und kontralateralen Gesichtsseite miteinander verglichen. Ein weiterer Schwerpunkt stellte die Untersuchung der Veränderung der Muskelgröße im Verlauf der Rehabilitation dar. Darüber hinaus wurde der Einfluss von Patientencharakteristika wie Körpergröße, Körpergewicht, Body-Mass-Index und Paresedauer auf die Größe der Gesichtsmuskulatur untersucht.

### **5.1 Charakteristika des Patientenkollektivs**

Innerhalb eines Zeitraumes von September 2014 bis Juli 2015 wurden 54 Patienten einer Rehabilitationsfachklinik untersucht, welche infolge eines Schlaganfalls an einer zentralen Fazialisparese litten. Das Patientenkollektiv setzte sich aus 39 Männern und 15 Frauen zusammen, wies einen Altersdurchschnitt von 62 Jahren und eine Altersspanne von 57 Jahren auf. In der Gesamtbevölkerung hingegen treten mehr als 50 % aller Schlaganfälle in der Gruppe der über 75-Jährigen auf (Kolominsky-Rabas und Heuschmann 2002), somit lag der Altersdurchschnitt des untersuchten Patientenkollektivs mit einem Anteil von knapp 19 % deutlich darunter. Während Frauen aufgrund der höheren Lebenserwartung in Absolutzahlen mehr Schlaganfälle als Männer erleiden, sind die altersstandardisierten Inzidenzraten des Schlaganfalls bei Männern höher als bei Frauen (Reeves et al. 2008). Auch an der vorliegenden Studie nahm, möglicherweise aufgrund des geringen Altersdurchschnitts der Patienten von 62 Jahren, eine weitaus größere Anzahl von Männern teil. Die Patienten wurden möglichst zeitnah nach Aufnahme in die Rehabilitationsfachklinik sonografisch untersucht, um sowohl den Einfluss der zentralen Fazialisparese im frühen Stadium als auch im weiteren Verlauf beurteilen zu können. Die erste Sonografie wurde im Mittel vier Wochen nach Schlaganfall durchgeführt,

dieser Zeitraum variierte aufgrund unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte in die Rehabilitationsfachklinik stark zwischen zwei und elf Wochen, mit einem Ausreißer von sechzehn Wochen. Somit befanden sich die Patienten in sehr unterschiedlichen Genesungsstadien. Um dennoch zu gewährleisten, dass lediglich Patienten mit einseitiger, noch bestehender zentraler Fazialisparese untersucht wurden, bestanden strenge Ausschlusskriterien. Neben den 54 untersuchten Patienten konnten 49 Patienten aufgrund bestehender Bewusstseinsstörungen oder Aphasien und damit verbundener mangelnder Einwilligungsfähigkeit nicht in die Studie aufgenommen werden. Möglicherweise gehen diese ausgeprägten Schlaganfall-bedingten Einschränkungen auch mit einer höhergradigen zentralen Fazialisparese einher. Dies würde bedeuten, dass der Paresegrad in einem unselektierten Gesamtkollektiv von Patienten mit zentraler Fazialisparese nach Schlaganfall höher ausfallen könnte als dies im vorliegenden Patientenkollektiv der Fall war. 40 der 54 Patienten wiesen zu Aufnahmebeginn mit Grad III auf der House-Brackmann Skala eine moderate Dysfunktion der mimischen Muskulatur auf. Diese eingeschränkte Funktionsfähigkeit betraf zumeist die Muskulatur der unteren Gesichtshälfte. Sowohl ein nach oben Ziehen der Augenbrauen als auch das Schließen der Augen war allen untersuchten Patienten möglich. Mit rund 60 % stellte eine Ischämie im Versorgungsgebiet der Art. cerebri media die häufigste Ursache der zentralen Fazialisparese dar. Diese Form der cerebralen Durchblutungsstörung ist mit 50 % ebenfalls führende Ursache für Schlaganfälle in der Gesamtbevölkerung (Basetti und Herrmann 2010). Mit knapp 17 % folgten Ischämien im Bereich des Pons. Diese können, abhängig von der genauen Lokalisation der Läsion, in einer willkürlichen oder emotionalen zentralen und ebenfalls in einer peripheren Fazialisparese resultieren. In die vorliegende Studie wurden ausschließlich Patienten mit einer willkürlichen zentralen Fazialisparese eingeschlossen. Weniger häufig, mit rund 7 %, ließ sich eine Hirnblutung im Bereich der Basalganglien als Ursache der Störung nachweisen.

### **5.2 Merkmale der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur**

Untersucht wurden sieben mimische Muskeln, welche durch die Endäste des Plexus intraparotideus des N. facialis innerviert werden sowie zwei durch den N. mandibularis des N. trigeminus innervierten Kaumuskeln. Letztere sollten in der Regel von einer zentralen Fazialisparese unbeeinflusst bleiben und dementsprechend primär keine Atrophie aufweisen. In Untersuchungen an Patienten mit peripherer Fazialisparese konnte durch Volk et al. keine Veränderung der Kaumuskulatur festgestellt werden (Volk et al. 2014b). Um zu untersuchen, ob dies auch für Patienten mit zentraler Fazialisparese gilt oder sich mögliche Veränderungen der mimischen Muskulatur bei zentraler Fazialisparese auch sekundär auf die Kaumuskulatur

auswirken, wurden der M. temporalis sowie der M. masseter in die vorliegende Studie eingeschlossen.

Voraussetzung für die Sonografie der neun Gesichtsmuskeln war das konstante beidseitige Vorkommen und die sichere Abgrenzbarkeit dieser Muskeln gegen umliegendes Binde- und Fettgewebe. Die Auswahl der mimischen Muskeln beschränkte sich auf jene, die aufgrund ihrer Funktion für die Erzeugung der Basisemotionen verantwortlich sind und aus diesem Grund im Gegensatz zu anderen mimischen Muskeln bei jedem Individuum konstant angelegt sind (Waller et al. 2008). Zu diesen Muskeln zählen der M. frontalis, M. orbicularis oculi, M. zygomaticus major, M. depressor anguli oris und der M. orbicularis oris. Außerdem wurde der M. depressor labii inferioris untersucht, welcher an einer Vielzahl von Bewegungen beteiligt ist und eine enge Lagebeziehung zum M. depressor anguli oris aufweist. Wie bereits von anderen Autoren berichtet, zeigte dieser Muskel eine teils schwierige sonografische Darstell- und Abgrenzbarkeit gegen umgebende Strukturen (Roedel et al. 1998). Auch die Quantifizierung gestaltete sich aufgrund der höheren Echogenität und der größeren Auffächerung der Ansatzstellen schwierig und bestätigte damit die Aussagen anderer Mitglieder und Arbeiten des Fazialis-Nerv-Zentrums des Universitätsklinikums Jena (Sauer 2014). Darüber hinaus wurde aufgrund seiner sehr guten konstanten Abbildbarkeit der M. mentalis sonografisch untersucht. Bis auf den M. zygomaticus major wurden alle genannten Muskeln durch Volk et al. bereits an Patienten mit peripherer Fazialisparese untersucht (Volk et al. 2014b).

### **5.3 Sonografie und Quantifizierung der Gesichtsmuskulatur**

Die Sonografie der mimischen Muskulatur wurde in der vorliegenden Arbeit mit einem Xario SSA-660A Ultraschallgerät (Toshiba, Japan) vorgenommen. Nach Auswahl geeigneter Ultraschallgerät-Einstellungen wurden alle Patienten einheitlich mit diesem Preset untersucht. Prinzipiell kann die Sonografie der mimischen Muskulatur mit jedem Ultraschallgerät durchgeführt werden, welches die erforderlichen Geräteeinstellungen wie in Abschnitt 3.4 beschrieben gewährleistet. Die Untersuchung selbst wurde mit einem hochfrequenten Linearschallkopf (12 MHz) durchgeführt. Aufgrund der oberflächlichen Lage der mimischen Muskulatur eignen sich im Gegensatz zu Konvexschallköpfen Linearschallköpfe besonders zur differenzierten Nahfeldauflösung und werden deshalb zur Sonografie der mimischen Muskulatur empfohlen. Wichtig für die sonografische Darstellung der Gesichtsmuskulatur ist die Kenntnis des Untersuchers über anatomische Landmarken und die korrekte Positionierung des Ultraschallkopfes. Um möglichst reproduzierbar und einheitlich zu arbeiten, ist darauf zu achten den Ultraschallkopf im rechten Winkel zur Hautoberfläche aufzusetzen (Cady et al.

1983) und die exakte Schallebene zu wählen. Eine Abweichung hätte aufgrund der schräg angeschnittenen Schallebene des Muskels, verfälschte Messwerte zur Folge. Ebenso ist die Verwendung einer ausreichenden Menge an Ultraschallgel entscheidend, um eine optimale Ankopplung des Schallkopfes an die Hautoberfläche sicherzustellen und eine Komprimierung der sehr dünnen Muskelschicht, und damit eine Verfälschung der Messwerte, zu vermeiden. Besonders die Sonografie von stark atrophierter oder sich nicht kontrahierender Muskulatur gestaltete sich schwierig, da diese nur schlecht gegen das umliegende Gewebe abgrenzbar war. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die exakte sonografische Darstellung der mimischen Muskulatur stellte die Mitarbeit des Patienten dar. Dieser wurde während der Ultraschalluntersuchung aufgefordert gezielte Gesichtsbewegungen auszuführen, um so die Kontraktion entsprechender Muskeln hervorzurufen. Die korrekte Ausführung dieser Gesichtsbewegungen erforderte eine vorangehende gemeinsame Übungsphase mit dem Patienten. Auch die einheitliche Positionierung der Patienten in Rückenlage und die Einhaltung des Untersuchungsprotokolls, gewährleisteten eine möglichst reproduzierbare Darstellung der Gesichtsmuskulatur. Aufgrund dieser Vielzahl von Einflussfaktoren und potentiellen Fehlerquellen, die die Genauigkeit der sonografischen Untersuchung beeinträchtigen könnten, sind eine gute Kenntnis über die spezielle Anatomie der mimischen Muskulatur sowie eine vorangehende Übungsphase des Untersuchers eine Grundvoraussetzung (McAlister et al. 1998).

Daneben ist auch die Quantifizierung der Muskulatur anhand der sonografischen Aufnahmen teils abhängig von der Erfahrung des Untersuchers. Umso wichtiger ist die strikte Einhaltung eines festgelegten Ablaufes während der Segmentierung. Neben der Auswahl geeigneter Aufnahmen des Muskels im Ruhe- sowie im kontrahierten Zustand, sind die Helligkeit und der Kontrast des Bildes so zu wählen, dass der entsprechende Muskel eindeutig gegen das umliegende Gewebe abgegrenzt werden kann. Eine einheitliche Helligkeits- und Kontrastanpassung für alle Muskeln konnte nicht gefunden werden, da die Echogenität teilweise starke interindividuelle Unterschiede aufwies. Dennoch konnte die Mehrheit der Muskeln, mit Ausnahme des M. mentalis, ohne Probleme vermessen werden. Obwohl der M. mentalis sonografisch konstant abbildbar war, erwies sich seine eindeutige Begrenzung aufgrund kleiner variabel verlaufender Faseranteile im Randbereich um den echoarmen Kern und einem dadurch oft fließenden Übergang in das umgebende Gewebe als schwierig. In einer Studie von Volk et al. 2014 wurde die Querschnittsfläche des M. mentalis rund doppelt so groß angegeben wie in einer zuvor von Volk et al. veröffentlichten Studie aus dem Jahr 2013 (Volk et al. 2013). Dies bestätigt die variable Interpretation der Begrenzung dieses Muskels. Aus

diesem Grund wurde zur Segmentierung des M. mentalis nach intensiver Testphase eine spezielle Helligkeits- und Kontrastanpassung entwickelt, wie in Abschnitt 3.8.1 erläutert. Diese gewährleistete eine standardisierte Quantifizierung der Muskelgröße, ging jedoch mit einem wesentlich größeren zeitlichen Aufwand einher. Um dem ungeübten Untersucher die Quantifizierung eines schlecht gegen das umgebende Binde- und Fettgewebe abgrenzbaren Muskels zu erleichtern und vor allem eine einheitliche Interpretation der Muskelgrenze zu gewährleisten, wird diese Methode zur Helligkeits- und Kontrasteinstellung empfohlen. Im Hinblick auf den größeren zeitlichen Aufwand und die mehrheitlich gute Abgrenzbarkeit der Muskeln sollte die Anwendung dieser Methode jedoch auf die beschriebenen Fälle begrenzt bleiben. Eine automatische Segmentierung war mithilfe der verwendeten Software nicht möglich und steht bisher zur Vermessung der mimischen Muskulatur nicht zur Verfügung. Entsprechende Bemühungen in anderen Fachbereichen lieferten vielversprechende Ansätze wie zum Beispiel zur automatischen Segmentierung des Gehirns mittels MRT (Atkins und Mackiewicz 1998) und der Herzkammern mittels 3-D Kardio-CT (Zheng et al. 2008). Die automatische Segmentierung ist somit prinzipiell möglich, in Bezug auf die mimische Muskulatur jedoch aufgrund der besonderen anatomischen Gegebenheiten schwer umsetzbar. Im Gegensatz zur Skelettmuskulatur verfügt die mimische Muskulatur über keine Muskelfaszie, sodass einzelne Muskeln ineinander übergehen und diese in der Bildgebung oft nur schwer voneinander abgrenzbar sind (Hutto und Vattoth 2015). Somit ist fraglich, ob eine automatische Segmentierung der mimischen Muskulatur überhaupt möglich und sinnvoll ist. Wie in Abschnitt 3.7 beschrieben, stellte eine Voraussetzung für die Segmentierung der mimischen Muskulatur zunächst die Wahl eines geeigneten Auswertungsprogrammes dar. Nach intensiver Testphase vieler Programme konnte lediglich der Sante DICOM Viewer der Firma Santesoft (Griechenland) die Kriterien zur Segmentierung vollständig erfüllen. Die Software kann sowohl für die Auswertung von DICOM-Formaten des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Ultraschallgerätes Toshiba Xario SSA-660A (Toshiba, Japan) als auch für die in der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde Jena genutzten Geräte Philips HD11 XE (Philips, Niederlande) und eZono 4000 (eZono, Deutschland) uneingeschränkt empfohlen werden.

### **5.4 Geschlechtsspezifische Referenzbereiche**

Zunächst wurden die Muskelgrößen der neun ausgewählten Gesichtsmuskeln sonografisch bestimmt und auf Unterschiede zwischen dem männlichen und weiblichen Geschlecht untersucht. Ermittelt wurden Längs- und Querdurchmesser (QDM und LDM) sowie die Querschnittsflächen jener Muskeln, die vollständig in einer Schallebene abbildbar waren.



Aufgrund mäßiger Reliabilität des QDM und LDM im Gegensatz zur Querschnittsfläche (Sauer 2014) dienten diese im Rahmen der vorliegenden Arbeit lediglich der Vollständigkeit und sollen im Folgenden nicht diskutiert werden.

Der Vergleich der Muskelgrößen zwischen Männern und Frauen zeigte überwiegend keine signifikanten Größenunterschiede. Ausnahme bildeten der M. depressor anguli oris, welcher im Ruhe- und kontrahierten Zustand sowohl auf der kontralateralen als auch der paretischen Gesichtsseite im männlichen Patientenkollektiv eine signifikant größere Muskelfläche aufwies sowie der M. orbicularis oculi im Ruhezustand. Zu diesem Ergebnis kamen ebenso Volk et al. 2013. Nicht miterfasst wurden in deren Studie die Muskelgröße des M. zygomaticus major sowie die der Kaumuskulatur. Der Größenunterschied des M. depressor anguli oris zugunsten des männlichen Kollektivs konnte ebenfalls in einer späteren Studie durch Volk et al. 2014 nachgewiesen werden (Volk et al. 2014a). Diese Untersuchung zeigte jedoch für alle weiteren gemessenen Gesichtsmuskeln, bis auf den M. orbicularis oris, ein uneinheitliches Bild geschlechtsspezifischer Größenunterschiede, die auf das männliche und weibliche Geschlecht verteilt waren und nicht erklärt werden konnten. In der vorliegenden Arbeit wurden entsprechende Größenunterschiede zwischen den Geschlechtern außer für den M. depressor anguli oris und den M. orbicularis oculi im Ruhezustand nicht nachgewiesen. Zudem ist keine Studie bekannt, die einen größeren Anteil an Muskelmasse im Gesicht bei Männern belegen würde, wie dies für die Skelettmuskulatur der Fall ist (Mannion et al. 2008). Die mimische Muskulatur unterscheidet sich in vielerlei Hinsicht von der Skelettmuskulatur und nimmt, wie durch Happak et al. bereits im Jahr 1994 erkannt, eine Sonderstellung unter allen im Körper vorkommenden Muskeln ein. Dies wird durch das hochdifferenzierte System aus Muskel-Nerven-Verbindungen, dem Fehlen einer Muskelfaszie und der Innervation durch multiple, variabel angeordnete motorische Endplatten an der mimischen Muskulatur deutlich (Abbs et al. 1984, Hutto und Vattoth 2015, Happak et al. 1994).

### **5.5 Muskeldynamik**

Neben den absoluten Muskelgrößen selbst wurde auch die Muskeldynamik auf signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern untersucht. Hier zeigte lediglich der M. orbicularis oculi auf der paretischen Gesichtsseite eine größere Muskeldynamik der Frauen. Für alle anderen Muskeln ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Dieses Ergebnis bestätigte die Studie von Volk et al. 2014, welche ebenfalls keine geschlechtsspezifischen Größenunterschiede der Muskeldynamik nachweisen konnte. Eine Ausnahme bildeten der M. frontalis mit einer größeren Muskeldynamik der Männer und der M. depressor anguli oris mit entsprechend größerer Muskeldynamik der Frauen. Diese Unterschiede schienen jedoch

zufällig zu sein, da man gleichzeitig zu einer größeren Muskeldynamik des M. depressor anguli oris auch eine entsprechende Dominanz des M. depressor labii inferioris auf Seiten der Frauen erwarten würde, denn beide Muskeln unterstützen die selbe Gesichtsbewegung – das Herunterziehen der Mundwinkel.

Im Hinblick auf die geschlechtsunabhängige Muskeldynamik selbst, zeigte sich ein einheitliches Bild. Mit Ausnahme des M. orbicularis oculi konnte für alle untersuchten Muskeln eine signifikante Größenzunahme im kontrahierten Zustand festgestellt werden. Dies war sowohl auf der kontralateralen als auch der paretischen Gesichtseite der Fall. Eine Größenzunahme der mimischen Muskulatur in Kontraktion war durch Untersuchungen von Volk et al. bereits bekannt und wurde durch die vorliegende Arbeit bestätigt. Die stärkste Größenzunahme in Kontraktion mit rund 64 % konnte für den M. frontalis der kontralateralen Gesichtseite beobachtet werden. Eine, im Gegensatz zur mimischen Muskulatur, wesentlich geringere Muskeldynamik wies die Kaumuskulatur mit Werten zwischen rund 5,8 % und 14,9 % auf. Bereits Volk et al. verwiesen in ihrer Studie auf den geringeren Größenunterschied der Kaumuskulatur zwischen Ruhe- und kontrahiertem Zustand (Volk et al. 2014a). Sonografisch machte sich die Kontraktion der Kaumuskulatur weniger durch eine Größenzunahme als vielmehr durch die Bewegung einzelner Muskelanteile bemerkbar. Gleiches gilt in der vorliegenden Studie für den M. orbicularis oculi. Hier konnte bei Kontraktion eine Bewegung des Muskels durch das Ultraschallbild verzeichnet werden, weniger die Zunahme des Muskeldurchmessers. Diese Beobachtung spiegelt sich auch in den Messwerten des M. orbicularis oculi wider, welcher mit Abstand die kleinste Muskeldynamik aufwies. Während er im Ruhezustand die gleiche Muskelgröße zeigte wie in Untersuchungen durch Volk et al., konnte für die Größe in Kontraktion keine Übereinstimmung festgestellt werden (Volk et al. 2014a). Dieser Unterschied der Muskeldynamik des M. orbicularis oculi kann in der Anwendung unterschiedlicher Ultraschallköpfe begründet liegen. Für die vorliegende Studie stand ausschließlich ein hochfrequenter 12 MHz Linearschallkopf (Toshiba) zur Verfügung, während Volk et al. zur sonografischen Darstellung der kleineren Gesichtsmuskeln einen 7-15 MHz Stick-Linearschallkopf (Philips) verwendeten. Dieser ist kleiner und damit zur Sonografie des in enger Lagebeziehung zum Auge befindlichen M. orbicularis oculi besser geeignet. Für folgende sonografische Untersuchungen dieses Muskels ist deshalb die Verwendung eines 7-15 MHz Stick-Linearschallkopf empfehlenswert.

Interessanterweise konnte die signifikante Muskeldynamik nicht nur auf der kontralateralen, sondern ebenfalls auf der paretischen Gesichtseite festgestellt werden. Es hätte vermutet werden können, dass diese auf der paretischen Gesichtseite aufgrund der Parese-bedingten

Funktionseinschränkung weniger groß ausfallen würde als auf der kontralateralen Seite. Beide Gesichtsseiten zeigten jedoch eine signifikante Größenzunahme der Muskulatur in Kontraktion. Eine Begründung liefert die Tatsache, dass sich einige Muskeln der paretischen Gesichtsseite im Vergleich zur kontralateralen Gesichtsseite nicht nur im kontrahierten Zustand signifikant verkleinerten, sondern auch im Ruhezustand. Somit blieb das Größenverhältnis zwischen Ruhe und Kontraktion erhalten und die Muskeldynamik, also der Größenunterschied zwischen Ruhe- und kontrahiertem Zustand auf der kontralateralen und auch der paretischen Gesichtsseite, signifikant. Hätte die Muskulatur lediglich in der Fähigkeit eingebüßt sich kontrahieren zu können, ohne auch im Ruhezustand an Größe zu verlieren, wäre auf der paretischen Gesichtsseite eine geringere Muskeldynamik als auf der kontralateralen Gesichtsseite nachweisbar gewesen.

### **5.6 Vergleich der paretischen und kontralateralen Gesichtsseite**

Um beurteilen zu können, ob sich die Größe der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur auf der paretischen Gesichtsseite in Folge der zentralen Fazialisparese verkleinerte, wurde sie mit den Werten der kontralateralen Gesichtsseite verglichen. Dies war möglich, da sowohl ältere Studien belegten, dass die ausgewählten mimischen Muskeln symmetrisch und mit lediglich minimalen Größenunterschieden angelegt sind (Waller et al. 2008), als auch neue Untersuchungen signifikante Seitenunterschiede der sieben mimischen Muskeln ausschließen konnten (Volk et al. 2014a). Gleiches gilt für die beiden untersuchten Kaumuskeln, welche bei Untersuchungen an gesunden Probanden keine signifikanten Seitendifferenzen der Muskelgröße zeigten (Volk et al. 2014b). Somit diente die Größe des jeweiligen Muskels der kontralateralen Gesichtsseite als Referenz zur Beurteilung der Muskelgröße der paretischen Gesichtsseite. Dies könnte allerdings dazu geführt haben, dass in Folge der zentralen Fazialisparese mögliche Veränderungen der kontralateralen Gesichtsseite, wie zum Beispiel Kompensationsmechanismen, nicht miterfasst wurden und somit auch die Ergebnisse des Vergleichs der beiden Gesichtsseiten beeinflusst worden sein könnten. Jedoch zeigte die Muskulatur der kontralateralen Seite keine Größenänderung im Verlauf der Rehabilitation, was darauf schließen lässt, dass keine Kompensation der Gegenseite vorlag und somit auch die Ergebnisse nicht beeinflusst wurden. Darüber hinaus hat der Vergleich der paretischen mit der kontralateralen Gesichtsseite den großen Vorteil, dass die kontralaterale Seite als Referenz sowohl alters- und geschlechts-angepasst ist als auch unter den gleichen Einflussfaktoren wie dem Trainingszustand der Muskulatur und der individuellen Gesichtsform und -größe des Patienten steht. All dies könnte der Vergleich der paretischen Gesichtsseite mit Werten aus einem gesunden Probandenkollektiv nicht gewährleisten. Somit wurde in der vorliegenden

## Diskussion

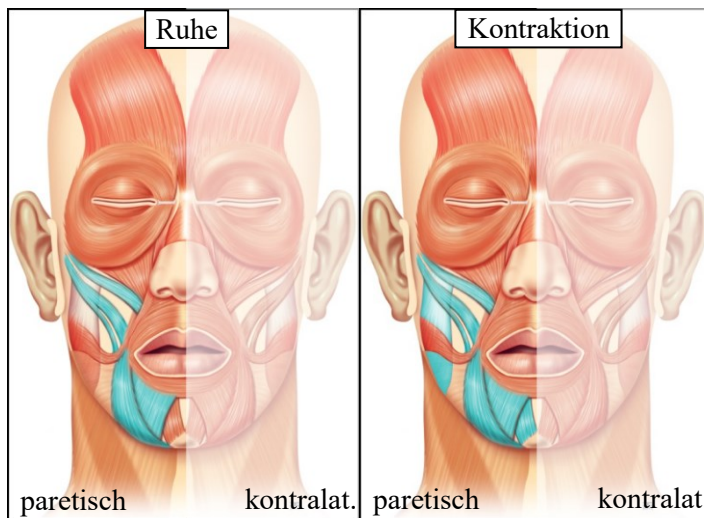
Arbeit der Vergleich zwischen paretischer und kontralateraler Seite einem Vergleich mit Referenzwerten eines gesunden Probandenkollektivs vorgezogen.

Wie beschrieben, wurden zur Klärung der Hauptfragestellung – dem Einfluss der zentralen Fazialisparese auf die mimische Muskulatur – die Muskelgrößen der paretischen und der kontralateralen Seite gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass signifikante Größenunterschiede lediglich im Bereich der unteren Gesichtshälfte nachweisbar waren und diese ausschließlich zu Gunsten der kontralateralen Gesichtseite ausfielen. Dies bedeutet, dass jene Muskeln mit einem signifikanten Größenunterschied der beiden Seiten, kleinere Muskeln auf der paretischen Seite zeigten. In Abb. 5.1 sind dementsprechend alle Muskeln in blau hervorgehoben, die eine signifikant kleinere Muskelgröße auf der paretischen Gesichtseite aufwiesen. Im Ruhezustand der Muskulatur waren dies der M. depressor anguli oris, der M. depressor labii inferioris und der M. zygomaticus major. Kein Unterschied ließ sich hingegen für die Kaumuskulatur und die Muskulatur der oberen Gesichtshälfte feststellen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Volk et al. bei der Untersuchung von Patienten mit peripherer Fazialisparese. Auch hier zeigte sich die Kaumuskulatur im Gegensatz zur mimischen Muskulatur unbeeinflusst (Volk et al. 2014b). Dies war aufgrund der unterschiedlichen Innervation der Kaumuskulatur auch zu erwarten. Während sich in der vorliegenden Studie kein Einfluss auf die Muskulatur der oberen Gesichtshälfte nachweisen ließ, verkleinerte sich die Muskelgröße des M. orbicularis oculi in der Studie von Volk et al. signifikant. Dieses Ergebnis spiegelt den Unterschied in der klinischen Präsentation der beiden Paresen sehr gut wider. Ebenfalls offensichtlich wird die wesentlich stärker ausgeprägte Muskelatrophie der Patienten mit chronisch peripherer Fazialisparese mit Verlusten an Muskelgewebe von über 36 %, während in der vorliegenden Studie die größte Differenz der Muskelgröße zwischen paretischer und kontralateraler Gesichtseite mit 18 % für den M. zygomaticus major festgestellt werden konnte, welcher in der Studie von Volk et al. nicht miterfasst wurde (Volk et al. 2014b). Diese Differenz resultiert aus den unterschiedlichen Ätiologien der beiden Fazialis paresen. Patienten mit chronisch peripherer Fazialisparese leiden an einer Denervierungs-Atrophie, wohingegen die geringfügig reduzierte Muskelgröße der Patienten mit zentraler Fazialisparese vermutlich auf eine Inaktivitätsatrophie zurückzuführen ist.

Im kontrahierten Zustand der Muskulatur zeigte sich ein sehr ähnliches Bild. Zusätzlich zu den drei Muskeln, die sich bereits im Ruhezustand auf der paretischen Seite als signifikant kleiner erwiesen, zeigten in Kontraktion auch der M. mentalis und M. masseter signifikant kleinere Muskelgrößen der paretischen Gesichtseite. Eine Größenabnahme des M. mentalis, welcher zur Muskulatur der unteren Gesichtshälfte zählt und damit ebenfalls von einer zentralen

Fazialisparese betroffen sein sollte, war zu erwarten. Dass auch einer der beiden Kaumuskeln im kontrahierten Zustand signifikant an Größe verlor, während die Größe in Ruhe unbeeinflusst blieb, kann ein Hinweis darauf sein, dass die Patienten aufgrund funktioneller Einschränkungen beim Essen und Trinken (zum Beispiel durch das Herauslaufen von Flüssigkeiten bei herabhängendem Mundwinkel) die präferierte Kauseite wechselten und der M. masseter aufgrund dessen sekundär an Muskelmasse verlor. Somit würde diese Beobachtung bedeuten, dass die zentrale Fazialisparese neben der mimischen Muskulatur auch einen geringfügigen sekundären Einfluss auf die Kaumuskulatur ausübt.



**Abb. 5.1: Signifikante Größenunterschiede der kontralateralen und paretischen Gesichtseite in Ruhe und Kontraktion**

In blau hervorgehoben sind jene Muskeln, die eine signifikant kleinere Größe auf der paretischen Gesichtseite aufwiesen.

Die auffallenden Größenunterschiede der Muskulatur im Mund- und Wangenbereich mit Aussparung der Muskulatur der oberen Gesichtshälfte entsprechen dem klinischen Erscheinungsbild einer zentralen Fazialisparese und bestätigen damit deren Einfluss auf die im unteren Gesichtsbereich befindliche Muskulatur. Gegenwärtig ist keine Studie bekannt, die die mimische Muskulatur bei Patienten mit zentraler Fazialisparese sonografisch beurteilt hat. Somit konnten die vorliegenden Daten ausschließlich mit Untersuchungen an gesunden Probanden und einer kleinen Stichprobe an Patienten mit peripherer Fazialisparese im Ruhezustand verglichen werden (Volk et al. 2014b).

### **5.7 Vergleich der Muskelgrößen mit Referenzwerten**

Neben dem Vergleich der paretischen und kontralateralen Gesichtseite sollten der Vollständigkeit halber auch die Muskelgrößen beider Seiten mit Werten eines gesunden Patientenkollektives verglichen werden. Dafür wurde die z-Transformation herangezogen. Diese ermöglichte es, Stichproben von unterschiedlichen Patientenkollektiven und mit ungleicher Stichprobengröße vergleichbar zu machen und gegenüberzustellen. Als Referenz

dienten die Daten aus der bisher größten und umfangreichsten Studie zur Sonografie der mimischen Muskulatur gesunder Probanden (Volk et al. 2014a).

Es zeigte sich, dass mit einem maximalen z-Wert von 1,57 alle Muskeln innerhalb der 1,57-fachen Standardabweichung der Referenz lagen und mit überwiegend negativem Vorzeichen eine leicht kleinere Muskelgröße aufwiesen. Hervorzuheben ist der M. zygomaticus major, welcher im Rahmen dieser Studie ausnahmslos größer gemessen wurde als in der Referenz. Eine Erklärung für diese Erscheinung konnte nicht gefunden werden, da die Sonografie aller Muskeln anhand eines einheitlichen Untersuchungsprotokolls vorgenommen und die Quantifizierung nach gleichen Gesichtspunkten durchgeführt wurde. Einzig die Auswertungsprogramme unterschieden sich, was die Abweichung der Muskelgröße des M. zygomaticus major zu den Referenzwerten von Volk et al. jedoch nicht erklärt. Mit Ausnahme des M. zygomaticus major, welcher sich dennoch innerhalb der 1,57-fachen SD befand, konnten somit sehr ähnliche Muskelgrößen im Vergleich zu den Referenzwerten festgestellt werden. Volk et al. war es möglich im Rahmen dieser Studie erstmals die Reliabilität der Sonografie als Methode zur Beurteilung der mimischen Muskulatur nachzuweisen (Volk et al. 2014a), nachdem dies in bisherigen Untersuchungen lediglich für einzelne mimische Muskeln und Kaumuskeln der Fall war (Kiliaridis und Kälébo 1991). Die Reliabilität ist dabei allerdings stark von der genauen Einhaltung eines einheitlichen Untersuchungsprotokolls sowie des gleichen Vorgehens bei der Segmentierung der Muskulatur abhängig. Deutlich wurde dies durch die sich stark unterscheidenden Messwerte jener Muskeln, die in aufeinanderfolgenden Studien von Volk et al. in unterschiedlichen Schnittebenen aufgenommen wurden und teils mit sowie teils ohne zusätzliche Helligkeits- und Kontrastanpassung der sonografischen Aufnahmen ausgewertet wurden (Volk et al. 2013, Volk et al. 2014a). Diese wiesen im Rahmen der Studie von 2014 eine rund doppelt so große Muskelgröße auf. Es ist darüber hinaus zu bedenken, dass aufgrund der großen interindividuellen Größenunterschiede der mimischen Muskulatur auch die SD der entsprechenden Messwerte verhältnismäßig groß sind. Somit ist ein Vergleich mit Referenzwerten einer anderen Stichprobe nicht immer sinnvoll.

### **5.8 Korrelation der Muskelgrößen mit ausgewählten Patientencharakteristika**

Während sich ein eindeutiger Einfluss der zentralen Fazialisparese auf die mimische Muskulatur nachweisen lies, zeigte die Korrelationsanalyse lediglich sehr geringe bis mittel starke Zusammenhänge mit ausgewählten Patientenmerkmalen. Untersucht wurden der Einfluss des Alters, der Körpergröße, des Körpergewichts, des Body-Mass-Index sowie der Paresedauer auf die Größe der Gesichtsmuskulatur. Die Untersuchung wurde für beide Geschlechter getrennt durchgeführt, da sich in diesem Fall teils deutlich unterschiedliche

Zusammenhänge ergaben. Dies hatte allerdings mit 15 Frauen und 39 Männern eine kleine Stichprobengröße zur Folge.

Im Fall der Skelettmuskulatur konnte bewiesen werden, dass ein Zusammenhang zwischen zunehmendem Alter und abnehmender Muskelgröße besteht (Tsubahara et al. 1995). Wahrscheinlich ist dies auf eine vermehrte Wasser- und Fetteinlagerung in die Muskulatur zurückzuführen (Parkkola et al. 1993). Ein weiterer Grund für den Rückgang der Muskulatur im höheren Alter ist die reduzierte physische Aktivität. Dieser Effekt könnte auf die mimische Muskulatur aufgrund des lebenslangen, ununterbrochenen Gebrauchs, zum Beispiel durch die Nahrungsaufnahme und die verbale und nonverbale Kommunikation, weniger Einfluss haben. Dies wäre eine mögliche Erklärung dafür, dass bisher kein Zusammenhang des Alters und der Größe sowohl der Hals- als auch der mimischen Muskulatur nachgewiesen werden konnte (Rankin et al. 2005, Volk et al. 2014a). In der vorliegenden Studie zeigte sich jedoch zwischen Männern und Frauen ein uneinheitliches Bild. Das männliche Kollektiv wies für die Muskulatur der unteren Gesichtshälfte sowie für die Kaumuskulatur eine signifikant negative Korrelation der Muskelgröße mit dem Patientenalter auf, was bedeutet, dass die Größe der Muskulatur mit zunehmendem Alter kleiner wurde, wie es für die Skelettmuskulatur bekannt ist. Im Gegensatz dazu fand sich im weiblichen Kollektiv, trotz größerer Korrelationskoeffizienten, kein signifikanter Zusammenhang. Dies liegt in der kleineren Stichprobengröße begründet.

Dagegen wies die Kaumuskulatur der Frauen signifikante Korrelationen mit dem Gewicht, dem BMI und der Paresedauer auf. Speziell konnte für den M. temporalis der kontralateralen Gesichtseite eine signifikant positive Korrelation mit dem Gewicht und dem BMI nachgewiesen werden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen bereits Kiliaridis und Kälebo, welche den positiven Zusammenhang zwischen der Muskeldicke des M. masseter und dem Körpergewicht sowie der Gesichtsform der Probanden zeigten (Kiliaridis und Kälebo 1991). Sie untersuchten lediglich den M. masseter, nicht jedoch den M. temporalis, der im Rahmen dieser Arbeit als zweiter Kaumuskel vermessen wurde. Wie auch in der vorliegenden Arbeit wurde diese signifikante Korrelation ausschließlich im weiblichen Patientenkollektiv gefunden. Die signifikant positive Korrelation der Muskelgröße mit dem Körpergewicht und dem BMI konnte darüber hinaus ebenfalls in einer Studie von Volk et al. bestätigt werden (Volk et al. 2014a). Somit weisen die Ergebnisse verschiedener Studien darauf hin, dass ein eindeutiger Einfluss des Körpergewichts auf die Kaumuskulatur existiert. Neben dem Körpergewicht und dem BMI korrelierte ebenfalls die Paresedauer signifikant positiv mit der Größe des M. masseter der Frauen. Dass dieser Zusammenhang sowohl auf der kontralateralen als auch der paretischen Gesichtseite auftrat, verwundert, da eine Zunahme der Muskelgröße mit längerer

## Diskussion

Paresedauer lediglich auf der kontralateralen Gesichtsseite zu erwarten gewesen wäre. Diese Annahme ist auf die verstärkte Nutzung der kontralateralen, nicht funktionell eingeschränkten Seite als präferierte Kauseite zurückzuführen. Eine Begründung für die gleichzeitige Korrelation der paretischen Seite konnte nicht gefunden werden. Im männlichen Patientenkollektiv wurden lediglich sehr geringe bis geringe Korrelationen der Muskelgröße des M. masseter und der Paresedauer gefunden. Die mimische Muskulatur zeigte sich, anders als die Kaumuskulatur, sowohl bei den Männern als auch den Frauen unbeeinflusst von der Paresedauer. Es liegt zum jetzigen Zeitpunkt keine vergleichende Literatur vor.

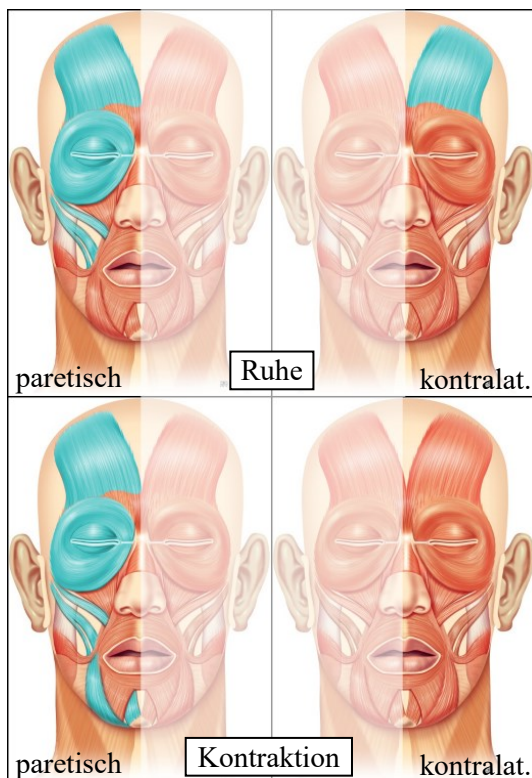
Kein Zusammenhang schien zwischen der Körpergröße und der Größe aller neun untersuchten Gesichtsmuskeln zu bestehen. Gleiches bestätigt eine Studie von Volk et al, welche ebenfalls keinen bzw. nur einen geringen Einfluss nachweisen konnte (Volk et al. 2014a). Im Gegensatz zur Körpergröße selbst, steht die Form des Gesichts in einer engen Beziehung zum Muskelquerschnitt des M. masseter der Frauen. Ein dünner Muskel bedeutete ein proportional längeres Gesicht (Kiliaridis und Kålebo 1991). Somit ist anzunehmen, dass die Größe der Gesichtsmuskulatur weniger durch die Körpergröße als vielmehr durch das individuelle Maß des Gesichts mitbestimmt wird. Jeder Muskel spannt sich zwischen seinen jeweiligen Ursprungs- und Ansatzpunkten im Gesicht auf und sollte entsprechend der Gesichtsform in Länge, Breite und Volumen variieren. Die klinische Relevanz der Bestimmung der Muskelgröße im Verhältnis zur Gesichtsform sowie die Korrelation mit Körpergröße, Körpergewicht und BMI ist jedoch begrenzt. Vielmehr sollte der Schwerpunkt folgender Studien auf Verlauf- und Therapie-relevante Gesichtspunkte gelegt werden, wie der individuellen Muskelgröße im Hinblick auf die Parese-/Rehabilitationsdauer sowie der Erfassung der Muskelgröße vor und nach verschiedenen spezifischen Therapien. So ist gegebenenfalls eine Anpassung und Optimierung des therapeutischen Vorgehens bei Patienten mit zentraler Fazialisparese möglich. Darüber hinaus könnte untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Muskelgröße und dem subjektiv vom Patienten empfundenen Gesundheitszustand und der Lebensqualität besteht. Dazu würden sich der Facial Disability Index (FDI) und die Facial Clinimetric Evaluation Skala (FaCE) eignen (VanSwearingen und Brach 1996, Kahn et al. 2001). Beide Skalen ermöglichen die Einschätzung der subjektiven oralen, okulären und sozialen Funktion der Patienten. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Tatsache von Interesse, dass viele Patienten von einer Besserung der oralen Funktion bereits innerhalb weniger Tage berichteten.



## 5.9 Muskelgröße im Verlauf

Neben der Frage, ob eine zentrale Fazialisparese Einfluss auf die Größe der mimischen Muskulatur hat, lag ein zweiter Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Beurteilung der Muskelgröße im Verlauf der Rehabilitation. Aufgrund der begrenzten Aufenthaltsdauer der Patienten in der Rehabilitationsfachklinik, standen lediglich 13 Patienten für eine zweite Ultraschalluntersuchung vor Entlassung zur Verfügung. Das Patientenkollektiv war daher klein. Umso bemerkenswerter ist der Nachweis signifikanter Größenunterschiede der mimischen Muskulatur zwischen dem Zeitpunkt der ersten und zweiten Sonografie.

Keiner der untersuchten Muskeln zeigte eine Größenabnahme im Verlauf. Alle nachgewiesenen signifikanten Größenänderungen stellten eine Größenzunahme dar und sollen in Abb. 5.2 verdeutlicht werden. Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass sich die Vergrößerung der Muskulatur ausschließlich auf der paretischen Gesichtseite feststellen ließ, mit Ausnahme des M. frontalis der kontralateralen Seite in Ruhe. Die Größenzunahme war dabei nicht nur auf die untere Gesichtshälfte beschränkt, sondern betraf ebenfalls Muskeln der Stirn- und Augenpartie. Keine signifikante Größenänderung zeigte hingegen die Kaumuskulatur. Im Ruhezustand wurden zum Zeitpunkt der zweiten Sonografie der M. zygomaticus major, der M. orbicularis oculi und der M. frontalis signifikant größer gemessen. In Kontraktion war dieser Effekt sogar noch ausgeprägter zu beobachten und betraf darüber hinaus den M. depressor anguli oris und den M. mentalis.



**Abb. 5.2: Vergleich der Muskelgrößen zwischen erster und zweiter Sonografie**

In blau hervorgehoben sind jene Muskeln, die zum Zeitpunkt der zweiten Sonografie signifikant größer gemessen wurden.

## Diskussion

Damit war eine Größenzunahme der mimischen Muskulatur auf der von der zentralen Fazialisparese betroffenen Gesichtsseite im Verlauf der Rehabilitation nachzuweisen. Bereits 1992 konnte durch Svensson et al. eine Verbesserung der mimischen Funktion innerhalb eines Monats nach Aufnahme in eine Rehabilitationseinrichtung festgestellt werden (Svensson et al. 1992), zu einem gleichen Ergebnis kamen Konecny et al. 2014 (Konecny et al. 2014).

Da sich, mit einer Ausnahme, die Erholung der mimischen Muskulatur in Form der Größenzunahme in der vorliegenden Studie ausschließlich auf der paretischen Gesichtsseite nachweisen ließ, kann davon ausgegangen werden, dass keine signifikante Kompensation der Gegenseite vorlag. Diese Feststellung ist wichtig im Hinblick auf den Größenvergleich der paretischen und der kontralateralen Gesichtsseite zur Beurteilung des Einflusses der zentralen Fazialisparese. Somit konnte gezeigt werden, dass sich die kontralaterale Gesichtsseite als Referenz zur Einschätzung der Muskelgröße der paretischen Gesichtsseite sehr gut eignet.

Die teilweise Wiedererlangung der Funktionsfähigkeit der mimischen Muskulatur wurde durch die Patienten subjektiv bereits einige Tage nach Schlaganfall beschrieben. Während sich die zentrale Fazialisparese unmittelbar nach Schlaganfall in vielen Fällen durch ein Herauslaufen von Flüssigkeiten aus dem paretischen Mundwinkel äußerte, besserte sich dieses Symptom innerhalb kurzer Zeit. Dabei entwickelten die Patienten keine kompensatorische Größenzunahme der Muskulatur der Gegenseite, wie es hätte erwartet werden können, sondern wiesen vielmehr eine Funktionsverbesserung der paretischen Muskulatur im Verlauf auf.

Es stellt sich demnach die Frage, ob diese Größenzunahme auf die durchgeführten Rehabilitationsmaßnahmen zurückzuführen ist, oder spontan und unabhängig von speziell durchgeführtem Training geschieht. Für Letzteres sprechen sowohl verschiedene neuroanatomische Gegebenheiten als auch Untersuchungen durch Svensson et al. Wie bereits in Abschnitt 1.1.3 beschrieben, sind die motorischen Kontrollareale der mimischen Muskulatur weit aufgefächert und komplex verschaltet. Dabei werden die fazialen Funktionseinheiten vermutlich kortikal durch verschiedene motorische Hirnareale repräsentiert, sodass bei Ausfall eines Areals andere motorische Zentren an der Genesung beteiligt sein könnten (Morecraft et al. 2001). Dies und die rasche zentrale Reorganisation erklären die schnelle Symptombesserung bei zentraler Fazialisparese. Bereits zwei bis drei Wochen nach Schlaganfall war eine erhöhte Aktivität ipsilateraler kortikonukleärer Fasern der nicht betroffenen Hemisphäre zu verzeichnen, die am Genesungsprozess beteiligt zu sein scheinen (Yildiz et al. 2005). Diese ipsilaterale und multiple Innervation sowie die zentrale Reorganisation erklären die schnellere Erholung der mimischen Muskulatur im Vergleich zur Skelettmuskulatur der Extremitäten. Wie in Kapitel 1.2.3 dargelegt, lassen darüber hinaus Untersuchungen von Muri et al. vermuten,

dass die Projektionen zur emotionalen motorischen Ansteuerung der mimischen Muskulatur bei Patienten mit willkürlicher Fazialisparese zur Überwindung dieser beitragen können (Muri 2016). Im Gegensatz zur zentralen Fazialisparese ist die Prognose der peripheren Fazialisparese, welche durch eine Schädigung des N. facialis verursacht wird, abhängig von der Stärke und Ätiologie der Nervenschädigung sowie dem Ausmaß der Parese. Bereits binnen drei Wochen weist die periphere Fazialisparese in 85 % der Fälle eine spontane Symptombesserung auf, diese Rückbildung ist jedoch zu 13 % unvollständig und kann Synkinesien, autonome Störungen und/oder Kontrakturen zur Folge haben (Peitersen 1982). Darüber hinaus scheint der durch die Fazialisparese verursachte emotionale Lebensdruck bei einer peripheren Fazialisparese stärker ausgeprägt zu sein, während sich laut Svennson et al. nur die Hälfte der Patienten mit zentraler Fazialisparese der Asymmetrie ihres Gesichts überhaupt bewusst sind (Svensson et al. 1992).

Neben diesen neuroanatomischen Erklärungen zur zentralen Fazialisparese unterstützt ebenfalls eine Studie durch Svennson et al. die Theorie der spontanen Remission. Verglichen wurde die mimische Funktion zweier Gruppen von Patienten mit zentraler Fazialisparese, wobei eine Gruppe ein spezielles Training der mimischen Muskulatur erhielt und eine zweite Gruppe als Kontrollgruppe diente. Beide Gruppen zeigten schon einen Monat nach Aufnahme in eine Rehabilitationseinrichtung eine signifikante Besserung der mimischen Funktion, sodass laut Svennson et al. eine spontane Remission der zentralen Fazialisparese, unabhängig von einer speziell durchgeführten Therapie, zu erwarten ist (Svensson et al. 1992). Diese Studie wurde jedoch an einem verhältnismäßig kleinen Patientenkollektiv durchgeführt und konnte durch eine neuere Arbeit von Konecny et al. nur teilweise bestätigt werden (Konecny et al. 2014). Diese untersuchte prospektiv den Einfluss einer gezielten orofazialen Therapie bei Patienten mit zentraler Fazialisparese nach Schlaganfall durch den Vergleich einer Therapie- und einer Kontrollgruppe. Es ergab sich im Verlauf eine Verbesserung der Mimik beider Gruppen, wie bereits durch Svennson et al. nachgewiesen werden konnte. Diese war jedoch innerhalb der Therapiegruppe signifikant stärker ausgeprägt. Darüber hinaus konnten eine Verringerung von Depressionen und eine Verbesserung der allgemeinen Lebensqualität erzielt werden (Konecny et al. 2014). Für Konecny et al. stellt die gezielte orofaziale Therapie, nach der Stabilisierung der lebenswichtigen Funktionen und der Verbesserung des Allgemeinzustandes, einen der wichtigsten Aspekte im Rahmen der Rehabilitation dar (Konecny et al. 2014). Es kann demnach festgehalten werden, dass einerseits eine spontane Remission der zentralen Fazialisparese zu verzeichnen ist und diese andererseits durch gezieltes Training noch verstärkt werden kann. Die Patienten der vorliegenden Arbeit erhielten ebenfalls verschiedene gezielte Therapieformen

## Diskussion

und zeigten im Verlauf sowohl eine Besserung der Mimik als auch eine Größenzunahme der mimischen Muskulatur der paretischen Gesichtsseite.

## **6 Schlussfolgerungen**

Die Sonografie ist ein nicht-invasives, nebenwirkungsfreies, kostengünstiges, schnell durchführbares und vom Patienten gut toleriertes Verfahren, das sich zur Untersuchung der mimischen Muskulatur sehr gut eignet. Es können sowohl die Morphologie, der Grad der Atrophie als auch die Muskeldynamik beurteilt werden. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die Sonografie nicht nur an gesunden Probanden, sondern auch uneingeschränkt zur Untersuchung von kooperationsfähigen Schlaganfallpatienten eingesetzt werden kann. Darüber hinaus erwies sich die Sonografie insbesondere zur Beurteilung der Muskelatrophie im Vergleich der paretischen und kontralateralen Gesichtsseite sowie zur Kontrolle der Muskelgröße im Verlauf der Rehabilitation als wertvolles Instrument. Die Gegenüberstellung der Muskelgrößen des Patientenkollektivs mit Referenzwerten eines Probandenkollektivs ist aufgrund der großen interindividuellen Unterschiede und der verhältnismäßig großen Standardabweichung nicht zu empfehlen.

Es hat sich gezeigt, dass die zentrale Fazialisparese eine spontane Besserung der mimischen Funktionsfähigkeit nach Schlaganfall aufweist. Zudem zeigten Patienten mit zentraler Fazialisparese meist eine mildere Funktionseinschränkung der mimischen Muskulatur als Patienten mit peripherer Fazialisparese, wie auch in der vorliegenden Studie festgestellt werden konnte. Rund 41 % der untersuchten Patienten litten mit Grad 3 auf der House-Brackmann Skala an einer moderaten Dysfunktion der mimischen Muskulatur, während rund 41 % der durch Volk et al. 2014 untersuchten Patienten mit peripherer Fazialisparese mit Grad 4 auf der House-Brackmann Skala eine schwere Dysfunktion zeigten. Nichts desto trotz kann der Therapieerfolg, nicht nur im Hinblick auf die mimische Funktion, sondern ebenfalls bezüglich möglicher Depressionen und der allgemeinen Lebensqualität mithilfe eines gezielten Trainings verbessert werden. Der Fokus in der Rehabilitation sollte neben der orofazialen Therapie auf der Verbesserung weiterer körperlicher, verbaler und kognitiver Einschränkungen wie Paresen der Extremitäten und Aphasien liegen, welche in der überwiegenden Zahl der Fälle mit einer zentralen Fazialisparese einhergehen und durch die untersuchten Patienten als weitaus belastender empfunden wurden.

Die Sonografie hat sich als besonders schonendes und vom Patienten sehr gut akzeptiertes Verfahren zur Untersuchung der mimischen Muskulatur erwiesen und kann als diagnostisches Instrument im Rahmen weiterer Studien empfohlen werden. Voraussetzungen für die Sonografie der mimischen Muskulatur sind ein sehr gut geschulter Untersucher und kooperationsfähige Patienten, die auf Anweisung des Untersuchers bestimmte Gesichtsbewegungen ausführen können. Darüber hinaus bedarf die reproduzierbare Darstellung

## Schlussfolgerungen

der mimischen Muskulatur genauer anatomischer Kenntnisse, dem Bewusstsein für mögliche Fehlerquellen und Einflussfaktoren und der exakten Einhaltung des Untersuchungsprotokolls. Zudem sollte die Ultraschalluntersuchung eines Patienten im Verlauf möglichst vom selben Untersucher durchgeführt werden, da dies den Vergleich der Muskulatur zu verschiedenen Zeitpunkten erleichtern kann.

Die zentrale Fazialisparese ist im Gegensatz zur peripheren Fazialisparese noch wenig untersucht. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde erfolgreich der Einfluss dieser auf die mimische Muskulatur nachgewiesen und somit der Grundstein für weiterführende Studien gelegt. Es konnte gezeigt werden, dass die mimische Muskulatur der unteren Gesichtshälfte, welche von einer zentralen Fazialisparese betroffen ist, an Größe verliert. Ebenso wurde festgestellt, dass sich die Funktion der mimischen Muskulatur der paretischen Gesichtshälfte im Verlauf der Rehabilitation verbessert und die Muskulatur an Größe zunimmt. Im Hinblick auf diese Feststellung und zur Untersuchung der Muskelgröße zu verschiedenen Zeitpunkten nach Auftreten der zentralen Fazialisparese wäre eine Folgestudie an einem größeren Patientenkollektiv vielversprechend. Die Sonografie sollte alsbald nach Schlaganfall sowie in festgelegten Zeitabständen durchgeführt werden. So könnte die Größe der mimischen Muskulatur im Verlauf besser beurteilt werden. Darüber hinaus bietet die Sonografie die Möglichkeit der Frage auf den Grund zu gehen, ob eine spontane Remission der fazialen Funktionseinschränkung unabhängig von einer gezielten Therapie eintritt. Bisherige Studien zeigten sich diesbezüglich uneins. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patienten erhielten verschiedene Therapieformen. Da sich eine Vergrößerung der paretischen Muskulatur feststellen lässt, könnte in der Folge eine mögliche Korrelation der Muskelgrößenzunahme und der jeweils eingesetzten Therapieform ebenfalls sonografisch untersucht und so die Suche nach der geeignetsten Therapie für Patienten mit zentraler Fazialisparese unterstützt werden.

## **7 Literaturverzeichnis**

- Abbs JH, Gracco VL, Blair C. 1984. Functional muscle partitioning during voluntary movement: Facial muscle activity for speech. *Exp. Neurol.*, 85 (3):469-479.
- Adams HP, Bendixen BH, Kappelle LJ, Biller J, Love BB, Gordon DL, Marsh EE. 1993. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. *Stroke*, 24 (1):35-41.
- Adams RD, Victor M, Ropper AH, Daroff RB. 1997. Principles of neurology. Neuropsychiatry. Neuropsychol. Behav. Neurol., 10 (3).
- Alfen NV, Gilhuis HJ, Keijzers JP, Pillen S, Van Dijk JP. 2013. Quantitative facial muscle ultrasound: feasibility and reproducibility. *Muscle Nerve*, 48 (3):375-380.
- Atkins MS, Mackiewicz BT. 1998. Fully automatic segmentation of the brain in MRI. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 17 (1):98-107.
- Baker DC, Conley J. 1979. Avoiding Facial Nerve Injuries in Rhytidectomy Anatomical Variations and Pitfalls. *Plast. Reconstr. Surg.*, 64 (6):781-795.
- Balogh B, Fruhwald F, Millesi W, Millesi H, Firbas W. 1988. Sonoanatomy of the muscles of facial expression. *Surg. Radiol. Anat.*, 10 (2):101-106.
- Bamford J, Sandercock P, Dennis M, Warlow C, Burn J. 1991. Classification and natural history of clinically identifiable subtypes of cerebral infarction. *The Lancet*, 337 (8756):1521-1526.
- Basetti CL, Herrmann DM. 2010. Klinische Symptome und Syndrome in der vaskulären Neurologie In: Dirk M. Hermann, Thorsten Steiner, Hans C. Diener: Vaskuläre Neurologie: Zerebrale Ischämien, Hämorrhagien, Gefäßmissbildungen, Vaskulitiden und vaskuläre Demenz. 1. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Bell C. 1821. On the nerves; giving an account of some experiments on their structure and functions, which lead to a new arrangement of the system. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 111:398-424.
- Bell C. 1830. The nervous system of the human body: embracing the papers delivered to the Royal Society on the subject of the nerves. London: Longman, Rees, Orme, Brown, and Green.
- Benecke R, Meyer B-U, Schönle P, Conrad B. 1988. Transcranial magnetic stimulation of the human brain: responses in muscles supplied by cranial nerves. *Exp. Brain Res.*, 71 (3):623-632.
- Bentsianov B, Blitzer A. 2004. Facial anatomy. *Clin. Dermatol.*, 22 (1):3-13.
- Bisdas S, Claassen H, Guntinas-Lichius O, Jungehülsing M, Laskawi R, Paulsen F, Riemann R, Ußmüller J, Vogl T. 2009. Facharztwissen HNO-Heilkunde. Heidelberg: Springer Medizin Verlag
- Bonita R. 1992. Epidemiology of stroke. *The Lancet*, 339 (8789):342-344.

- Borod JC, Haywood CS, Koff E. 1997. Neuropsychological aspects of facial asymmetry during emotional expression: A review of the normal adult literature. *Neuropsychol. Rev.*, 7 (1):41-60.
- Burmeister HP, Baltzer PAT, Klingner CM, Pantel M, Kaiser WA. 2010. Computer- und Magnetresonanztomographie des N. facialis. *HNO*, 58 (5):433-442.
- Cady E, Gardener J, Edwards R. 1983. Ultrasonic tissue characterisation of skeletal muscle. *Eur. J. Clin. Invest.*, 13 (6):469-473.
- Campbell R. 1978. Asymmetries in interpreting and expressing a posed facial expression. *Cortex*, 14 (3):327-342.
- Cattaneo L, Pavesi G. 2014. The facial motor system. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 38:135-159.
- Charil A, Zijdenbos AP, Taylor J, Boelman C, Worsley KJ, Evans AC, Dagher A. 2003. Statistical mapping analysis of lesion location and neurological disability in multiple sclerosis: application to 452 patient data sets. *Neuroimage*, 19 (3):532-544.
- Darwin C. 1872. The expression of the emotions in man and animals. London: John Murray. 1st edition.
- Deutsche Gesellschaft für Neurologie. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie, Aufl. 5, 2012. S2k-Leitlinie: Akuttherapie des ischämischen Schlaganfalls - Ergänzungen 2015 - Rekanalisierende Therapie. Stand 06.10.2015 [zitiert am 04.06.2017] [http://www.dsg-info.de/images/stories/DSG/PDF/Leitlinien/030140\\_LL\\_akuter-ischämischer-schlaganfall\\_final.pdf](http://www.dsg-info.de/images/stories/DSG/PDF/Leitlinien/030140_LL_akuter-ischämischer-schlaganfall_final.pdf).
- Diamond M, Wartmann CT, Tubbs RS, Shoja MM, Cohen-Gadol AA, Loukas M. 2011. Peripheral facial nerve communications and their clinical implications. *Clin. Anat.*, 24 (1):10-18.
- Dobel C, Miltner W, Witte O, Volk G, Guntinas-Lichius O. 2013. Emotionale Auswirkungen einer Fazialisparese. *Laryngo-Rhino-Ototo*, 92 (01):9-23.
- Eckstein H-H, Ringleb P, Allenberg J-R, Berger J, Fraedrich G, Hacke W, Hennerici M, Stingele R, Fiehler J, Zeumer H. 2008. Results of the Stent-Protected Angioplasty versus Carotid Endarterectomy (SPACE) study to treat symptomatic stenoses at 2 years: a multinational, prospective, randomised trial. *Lancet Neurol*, 7 (10):893-902.
- European Stroke Initiative Executive Committee, Eusi Writing Committee, Olsen TS, Langhorne P, Diener HC, Hennerici M, Ferro J, Sivenius J, Wahlgren NG, Bath P. 2003. European Stroke Initiative Recommendations for Stroke Management-update 2003. *Cerebrovasc. Dis.*, 16 (4):311-337.
- Fairhead J, Mehta Z, Rothwell P. 2005. Population-based study of delays in carotid imaging and surgery and the risk of recurrent stroke. *Neurology*, 65 (3):371-375.
- Fattah AY, Gurusinghe AD, Gavilan J, Hadlock TA, Marcus JR, Marres H, Nduka CC, Slattey WH, Snyder-Warwick AK. 2015. Facial nerve grading instruments: systematic review of the literature and suggestion for uniformity. *Plast. Reconstr. Surg.*, 135 (2):569-579.



- Finkensieper M, Volk GF, Guntinas-Lichius O. 2012. Diseases of the Facial Nerve. *Laryngo-Rhino-Otol*, 91 (2):121-141.
- Fisher M, Albers GW. 2013. Advanced imaging to extend the therapeutic time window of acute ischemic stroke. *Ann. Neurol.*, 73 (1):4-9.
- Freilinger G, Gruber H, Happak W, Pechmann U. 1987. Surgical anatomy of the mimic muscle system and the facial nerve: importance for reconstructive and aesthetic surgery. *Plast. Reconstr. Surg.*, 80 (5):686-690.
- Freilinger G, Happak W, Burggasser G, Gruber H. 1990. Histochemical mapping and fiber size analysis of mimic muscles. *Plast. Reconstr. Surg.*, 86 (3):422-428.
- Fried I, Katz A, McCarthy G, Sass KJ, Williamson P, Spencer SS, Spencer DD. 1991. Functional organization of human supplementary motor cortex studied by electrical stimulation. *J. Neurosci.*, 11 (11):3656-3666.
- Frühwald F, Czembrerek H, Gritzmann N. 1988. *Faciale Weichteile*. Vienna: Springer.
- Fukazawa T, Moriwaka F, Hamada K, Hamada T, Tashiro K. 1997. Facial palsy in multiple sclerosis. *J. Neurol.*, 244 (10):631-633.
- Ghassemi A, Prescher A, Riediger D, Axer H. 2003. Anatomy of the SMAS revisited. *Aesthetic Plast. Surg.*, 27 (4):258-264.
- Ghez C, Krakauer J. 2000. The organization of movement. *Principles of neural science*, 656:668.
- Gorelick PB, Sacco RL, Smith DB, et al. 1999. Prevention of a first stroke: A review of guidelines and a multidisciplinary consensus statement from the national stroke association. *JAMA*, 281 (12):1112-1120.
- Guntinas-Lichius O, Schaitkin BM. 2015. *Facial Nerve Disorders and Diseases: Diagnosis and Management*. Stuttgart: Thieme.
- Hacke W, Kaste M, Bluhmki E, Brozman M, Dávalos A, Guidetti D, Larrue V, Lees KR, Medeghri Z, Machnig T, Schneider D, von Kummer R, Wahlgren N, Toni D. 2008. Thrombolysis with Alteplase 3 to 4.5 Hours after Acute Ischemic Stroke. *N. Engl. J. Med.*, 359 (13):1317-1329.
- Happak W, Burggasser G, Liu J, Gruber H, Freilinger G. 1994. Anatomy and histology of the mimic muscles and the supplying facial nerve. *The Facial Nerve*. Berlin, Heidelberg: Springer, 85-86.
- Happak W, Liu J, Burggasser G, Flowers A, Gruber H, Freilinger G. 1997. Human facial muscles: dimensions, motor endplate distribution, and presence of muscle fibers with multiple motor endplates. *The Anatomical Record*, 249 (2):276-284.
- Heuschmann PU, Busse O, Wagner M, Endres M, Villringer A, Röther J, Kolominsky-Rabas P, Berger K. 2010. Frequency and care of stroke in Germany. *Aktuelle Neurologie*, 37 (07):333-340.

- Holstege G. 2002. Emotional innervation of facial musculature. *Mov. Disord.*, 17 (Suppl. 2):S12-16.
- Hopf HC, Muller-Forell W, Hopf NJ. 1992. Localization of emotional and volitional facial paresis. *Neurology*, 42 (10):1918-1918.
- House JW, Brackmann DE. 1985. Facial nerve grading system. *Otolaryngol. Head Neck Surg.*, 93 (2):146-147.
- Hutto JR, Vattoth S. 2015. A practical review of the muscles of facial mimicry with special emphasis on the superficial musculoaponeurotic system. *AJR Am. J. Roentgenol.*, 204 (1):W19-26.
- International Anatomical Nomenclature Committee, International Congress of Anatomists. 1989. *Nomina anatomica: authorised by the Twelfth International Congress of Anatomists in London, 1985. 6.te Aufl. Edinburgh [u.a.]: Churchill Livingstone.*
- Iwase M, Ouchi Y, Okada H, Yokoyama C, Nobezawa S, Yoshikawa E, Tsukada H, Takeda M, Yamashita K, Takeda M. 2002. Neural substrates of human facial expression of pleasant emotion induced by comic films: a PET study. *Neuroimage*, 17 (2):758-768.
- Jackson CG, Glasscock ME, Hughes G, Sismanis A. 1980. Facial paralysis of neoplastic origin: diagnosis and management. *The Laryngoscope*, 90 (10):1581-1595.
- Jauch EC, Saver JL, Adams HP, Bruno A, Connors JJ, Demaerschalk BM, Khatri P, McMullan PW, Qureshi AI, Rosenfield K, Scott PA, Summers DR, Wang DZ, Wintermark M, Yonas H. 2013. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke. *Stroke*, 44 (3):870-947.
- Jenny AB, Saper CB. 1987. Organization of the facial nucleus and corticofacial projection in the monkey: a reconsideration of the upper motor neuron facial palsy. *Neurology*, 37 (6):930-939.
- Johnston SC, Mendis S, Mathers CD. 2009. Global variation in stroke burden and mortality: estimates from monitoring, surveillance, and modelling. *Lancet Neurol*, 8 (4):345-354.
- Kahn JB, Gliklich RE, Boyev KP, Stewart MG, Metson RB, McKenna MJ. 2001. Validation of a Patient-Graded Instrument for Facial Nerve Paralysis: The FaCE Scale. *The Laryngoscope*, 111 (3):387-398.
- Kappos L, Mehling M. 2010. Dissociation of voluntary and emotional innervation after stroke. *N. Engl. J. Med.*, 363 (16):e25.
- Kataoka S, Hori A, Shirakawa T, Hirose G. 1997. Paramedian pontine infarction. *Stroke*, 28 (4):809-815.
- Kidwell CS, Jahan R, Gornbein J, Alger JR, Nenov V, Ajani Z, Feng L, Meyer BC, Olson S, Schwamm LH, Yoo AJ, Marshall RS, Meyers PM, Yavagal DR, Wintermark M, Guzy J, Starkman S, Saver JL. 2013. A Trial of Imaging Selection and Endovascular Treatment for Ischemic Stroke. *N. Engl. J. Med.*, 368 (10):914-923.
- Kiliaridis S, Kälébo P. 1991. Masseter muscle thickness measured by ultrasonography and its relation to facial morphology. *J. Dent. Res.*, 70 (9):1262-1265.

- Kolominsky-Rabas PL, Heuschmann PU. 2002. Incidence, etiology and long-term prognosis of stroke. *Fortschr. Neurol. Psychiatr.*, 70 (12):657-662.
- Konecny P, Elfmark M, Horak S, Pastucha D, Krobot A, Urbanek K, Kanovsky P. 2014. Central facial paresis and its impact on mimicry, psyche and quality of life in patients after stroke. *Biomed. Pap.*, 158 (1):133-137.
- Lang J. 1985. Anatomy of the brainstem and the lower cranial nerves, vessels, and surrounding structures. *Otol. Neurotol.*, 6:20.
- Lapatki BG, Oostenveld R, Van Dijk JP, Jonas IE, Zwarts MJ, Stegeman DF. 2006. Topographical Characteristics of Motor Units of the Lower Facial Musculature Revealed by Means of High-Density Surface EMG. *J. Neurophysiol.*, 95 (1):342-354.
- Laplane D, Talairach J, Meininger V, Bancaud J, Orgogozo J. 1977. Clinical consequences of corticectomies involving the supplementary motor area in man. *J. Neurol. Sci.*, 34 (3):301-314.
- Lucchinetti C, Parisi J, Scheithauer B, Rodriguez M. 2000. Heterogeneity of multiple sclerosis lesions: implications for the pathogenesis of demyelination. *Ann. Neurol.*, 47 (6):707-717.
- Luppino G, Rizzolatti G. 2000. The organization of the frontal motor cortex. *Physiology*, 15 (5):219-224.
- MacDonald J, McGurk H. 1976. Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264:746-748.
- Malin J. 1995. Nervus facialis (VII). *Erkrankungen der Hirnnerven*. Thieme, Stuttgart:172-204.
- Mannion A, Pulkovski N, Toma V, Sprott H. 2008. Abdominal muscle size and symmetry at rest and during abdominal hollowing exercises in healthy control subjects. *J. Anat.*, 213 (2):173-182.
- Marur T, Tuna Y, Demirci S. 2014. Facial anatomy. *Clin. Dermatol.*, 32 (1):14-23.
- Mavrikakis I. 2008. Facial nerve palsy: anatomy, etiology, evaluation, and management. *Orbit*, 27 (6):466-474.
- McAlister R, Harkness E, Nicoll J. 1998. An ultrasound investigation of the lip levator musculature. *Eur. J. Orthod.*, 20 (6):713-720.
- Michel L, Derkinderen P, Laplaud D, Daumas-Duport B, Auffray-Calvier E, Lebouvier T. 2008. Emotional facial palsy following striato-capsular infarction. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 79 (2):193-194.
- Morecraft RJ, van Hoesen GW. 1993. Frontal granular cortex input to the cingulate (M3), supplementary (M2) and primary (M1) motor cortices in the rhesus monkey. *J. Comp. Neurol.*, 337 (4):669-689.
- Morecraft RJ, Stilwell-Morecraft KS, Rossing WR. 2004. The motor cortex and facial expression: new insights from neuroscience. *Neurologist*, 10 (5):235-249.

## Literaturverzeichnis

- Morecraft RJ, Louie JL, Herrick JL, Stilwell-Morecraft KS. 2001. Cortical innervation of the facial nucleus in the non-human primate: a new interpretation of the effects of stroke and related subtotal brain trauma on the muscles of facial expression. *Brain*, 124 (Pt 1):176-208.
- Morecraft RJ, McNeal DW, Stilwell-Morecraft KS, Gedney M, Ge J, Schroeder CM, Van Hoesen GW. 2007. Amygdala interconnections with the cingulate motor cortex in the rhesus monkey. *J. Comp. Neurol.*, 500 (1):134-165.
- Mukherjee D, Patil CG. 2011. Epidemiology and the Global Burden of Stroke. *World Neurosurg.*, 76 (6, Suppl.):S85-S90.
- Muri RM. 2016. Cortical control of facial expression. *J. Comp. Neurol.*, 524 (8):1578-1585.
- Murray EM, Krause WH, Stafford RJ, Bono AD, Meltzer EP, Borod JC. 2015. Asymmetry of facial expressions of emotion. *Understanding Facial Expressions in Communication*. New Delhi: Springer India, 73-99.
- Mykатыn TM, Mackinnon SE. 2004. A review of facial nerve anatomy. *Semin. Plast. Surg.*, 18 (1):5-12.
- Newton H. 1994. Primary brain tumors: review of etiology, diagnosis and treatment. *Am. Fam. Physician*, 49 (4):787-797.
- O'Donnell MJ, Xavier D, Liu L, Zhang H, Chin SL, Rao-Melacini P, Rangarajan S, Islam S, Pais P, McQueen MJ, Mondo C, Damasceno A, Lopez-Jaramillo P, Hankey GJ, Dans AL, Yusuf K, Truelsen T, Diener H-C, Sacco RL, Ryglewicz D, Czlonkowska A, Weimar C, Wang X, Yusuf S. 2010. Risk factors for ischaemic and intracerebral haemorrhagic stroke in 22 countries (the INTERSTROKE study): a case-control study. *The Lancet*, 376 (9735):112-123.
- Parkkola R, Rytökoski U, Korman M. 1993. Magnetic resonance imaging of the discs and trunk muscles in patients with chronic low back pain and healthy control subjects. *Spine*, 18 (7):830-836.
- Peitersen E. 1982. The natural history of Bell's palsy. *Otol. Neurotol.*, 4 (2):107-111.
- Pilurzi G, Hasan A, Saifee TA, Tolu E, Rothwell JC, Deriu F. 2013. Intracortical circuits, sensorimotor integration and plasticity in human motor cortical projections to muscles of the lower face. *J. Physiol.*, 591 (7):1889-1906.
- Pugliatti M, Rosati G, Carton H, Riise T, Drulovic J, Vécsei L, Milanov I. 2006. The epidemiology of multiple sclerosis in Europe. *Eur. J. Neurol.*, 13 (7):700-722.
- Rankin G, Stokes M, Newham D. 2005. Size and shape of the posterior neck muscles measured by ultrasound imaging: normal values in males and females of different ages. *Man. Ther.*, 10 (2):108-115.
- Rathore SS, Hinn AR, Cooper LS, Tyroler HA, Rosamond WD. 2002. Characterization of incident stroke signs and symptoms: findings from the atherosclerosis risk in communities study. *Stroke*, 33 (11):2718-2721.

## Literaturverzeichnis

- Reeves MJ, Bushnell CD, Howard G, Gargano JW, Duncan PW, Lynch G, Khatiwoda A, Lisabeth L. 2008. Sex differences in stroke: epidemiology, clinical presentation, medical care, and outcomes. *Lancet Neurol*, 7 (10):915-926.
- Roedel R, Christen HJ, Laskawi R. 1998. Aplasia of the depressor anguli oris muscle: a rare cause of congenital lower lip palsy? *Neuropediatrics*, 29 (04):215-219.
- Ross BG, Fradet G, Nedzelski JM. 1996. Development of a sensitive clinical facial grading system. *Otolaryngol. Head Neck Surg.*, 114 (3):380-386.
- Ross ED, Pulusu VK. 2013. Posed versus spontaneous facial expressions are modulated by opposite cerebral hemispheres. *Cortex*, 49 (5):1280-1291.
- Ross ED, Homan RW, Buck R. 1994. Differential Hemispheric Lateralization of Primary and Social Emotions Implications for Developing a Comprehensive Neurology for Emotions, Repression, and the Subconscious. *Cogn. Behav. Neurol.*, 7 (1):1-19.
- Ross ED, Prodan CI, Monnot M. 2007a. Human facial expressions are organized functionally across the upper-lower facial axis. *The Neuroscientist*, 13 (5):433-446.
- Ross ED, Reddy AL, Nair A, Mikawa K, Prodan CI. 2007b. Facial expressions are more easily produced on the upper-lower compared to the right-left hemiface. *Percept. Mot. Skills*, 104 (1):155-165.
- Ross ED, Shayya L, Champlain A, Monnot M, Prodan CI. 2013. Decoding facial blends of emotion: Visual field, attentional and hemispheric biases. *Brain Cogn.*, 83 (3):252-261.
- Sage J, Van Uitert R. 1983. Risk of recurrent stroke in patients with atrial fibrillation and non-valvular heart disease. *Stroke*, 14 (4):537-540.
- Sauer M. 2014. Statische und dynamische Sonographie der mimischen Muskulatur bei Probanden und Patienten mit peripherer Fazialisparese: Erhebung geschlechtsspezifischer Referenzbereiche. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Sauer M, Guntinas-Lichius O, Volk GF. 2016. Ultrasound echomyography of facial muscles in diagnosis and follow-up of facial palsy in children. *Eur. J. Paediatr. Neurol.*, 20 (4):666-670.
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U. 2009. Prometheus. Lernatlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie. 2. überarbeitete Auflage. Illustrationen von M. Voll und K. Wesker. Stuttgart: Thieme.
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U. 2012. Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie. 3. überarbeitete Auflage. Illustrationen von M. Voll und K. Wesker. Stuttgart: Thieme.
- Simonyan K, Jürgens U. 2003. Efferent subcortical projections of the laryngeal motorcortex in the rhesus monkey. *Brain Res.*, 974 (1):43-59.
- Somand D, Meurer W. 2009. Central nervous system infections. *Emerg. Med. Clin. North Am.*, 27 (1):89-100.
- Standring S. 2015. Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice. *Am J Neuroradiol.*

- Steiner T, Kaste M, Forsting M, Mendelow D, Kwiecinski H, Szikora I, Juvela S, Marchel A, Chapot R, Cognard C. 2006. Recommendations for the management of intracranial haemorrhage-part I: spontaneous intracerebral haemorrhage. The European Stroke Initiative Writing Committee and the Writing Committee for the EUSI Executive Committee. *Cerebrovasc. Dis.*, 22 (4):294.
- Stennert E, Limberg CH, Frentrup KP. 1977. An index for paresis and defective healing - an easily applied method for objectively determining therapeutic results in facial paresis. *HNO*, 25 (7):238-245.
- Svensson B, Christiansen L, Jepsen E. 1992. Treatment of central facial nerve paralysis with electromyography biofeedback and taping of cheek. A controlled clinical trial. *Ugeskr. Laeger*, 154 (50):3593-3596.
- Töpper R, Kosinski C, Mull M. 1995. Volitional type of facial palsy associated with pontine ischaemia. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 58 (6):732.
- Toulgoat F, Sarrazin JL, Benoudiba F, Pereon Y, Auffray-Calvier E, Daumas-Duport B, Lintia-Gaultier A, Desal HA. 2013. Facial nerve: From anatomy to pathology. *Diagn Interv Imaging*, 94 (10):1033-1042.
- Trepel M. 2011. *Neuroanatomie*. 5. Auflage Aufl. München/Jena: Elsevier, Urban&Fischer Verlag.
- Trosch RM, Sze G, Brass LM, Waxman SG. 1990. Emotional facial paresis with striatocapsular infarction. *J. Neurol. Sci.*, 98 (2):195-201.
- Truelsen T, Piechowski-Jóźwiak B, Bonita R, Mathers C, Bogousslavsky J, Boysen G. 2006. Stroke incidence and prevalence in Europe: a review of available data. *Eur. J. Neurol.*, 13 (6):581-598.
- Tsubahara A, Chino N, Akaboshi K, Okajima Y, Takahashi H. 1995. Age-related changes of water and fat content in muscles estimated by magnetic resonance (MR) imaging. *Disabil. Rehabil.*, 17 (6):298-304.
- Urban P, Wicht S, Marx J, Mitrovic S, Fitzek C, Hopf H. 1998. Isolated voluntary facial paresis due to pontine ischemia. *Neurology*, 50 (6):1859-1862.
- Valls-Solé J. 2007. Electrodiagnostic studies of the facial nerve in peripheral facial palsy and hemifacial spasm. *Muscle Nerve*, 36 (1):14-20.
- Van Buskirk C. 1945. The seventh nerve complex. *J. Comp. Neurol.*, 82 (3):303-333.
- VanSwearingen JM, Brach JS. 1996. The Facial Disability Index: reliability and validity of a disability assessment instrument for disorders of the facial neuromuscular system. *Phys. Ther.*, 76 (12):1288-1298.
- Vinkka-Puhakka H, Kean MR, Heap S. 1989. Ultrasonic investigation of the circumoral musculature. *J. Anat.*, 166:121.
- Volk GF, Leier C, Guntinas-lichius O. 2016. Correlation between electromyography and quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with facial palsy. *Muscle Nerve*, 53 (5):755.

## Literaturverzeichnis

- Volk GF, Sauer M, Pohlmann M, Guntinas-Lichius O. 2014a. Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults. *Muscle Nerve*, 50 (3):348-357.
- Volk GF, Pohlmann M, Sauer M, Finkensieper M, Guntinas-Lichius O. 2014b. Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy. *Muscle Nerve*, 50 (3):358-365.
- Volk GF, Wystub N, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. 2013. Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle Nerve*, 47 (6):878-883.
- Waller B, Cray J, Burrows A. 2008. Selection for universal facial emotion. *Emotion*, 8 (3):435-439.
- Welt C, Abbs JH. 1990. Musculotopic organization of the facial motor nucleus in macaca fascicularis: A morphometric and retrograde tracing study with cholera toxin B-HRP. *J. Comp. Neurol.*, 291 (4):621-636.
- Williams GR, Jiang JG, Matchar DB, Samsa GP. 1999. Incidence and occurrence of total (first-ever and recurrent) stroke. *Stroke*, 30 (12):2523-2528.
- Wolf G. 1988. Neue Aspekte zur Pathogenese und Therapie der hyperreflektorischen Rhinopathie. *Laryngol. Rhinol. Otol.*, 67 (09):438-445.
- Yildiz N, Ertekin C, Ozdemirkiran T, Yildiz SK, Aydogdu I, Uludag B, Secil Y. 2005. Corticonuclear innervation to facial muscles in normal controls and in patients with central facial paresis. *J. Neurol.*, 252 (4):429-435.
- Zadro I, Barun B, Habek M, Brinar VV. 2008. Isolated cranial nerve palsies in multiple sclerosis. *Clin. Neurol. Neurosurg.*, 110 (9):886-888.
- Zheng Y, Barbu A, Georgescu B, Scheuering M, Comaniciu D. 2008. Four-chamber heart modeling and automatic segmentation for 3-D cardiac CT volumes using marginal space learning and steerable features. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 27 (11):1668-1681.
- Zilles K, Tillmann BN. 2010. *Anatomie*. Heidelberg: Springer-Verlag.

## **8 Anhang**

### **8.1 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Allen voran Herrn Prof. Dr. O. Guntinas-Lichius, Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena, für die Überlassung des Dissertationsthemas, die strukturierte Betreuung und das stets schnelle Feedback.

Ein besonderer Dank gilt auch Dr. G.F. Volk, Oberarzt der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena, der mich mit der Thematik dieser Dissertation vertraut gemacht hat, mich bei der Erlernung der sonografischen Techniken unterstützt hat und zu jeder Zeit mit einem hilfreichen Rat zur Seite stand.

Diese Arbeit wäre ohne die Zusammenarbeit mit der Moritz Klinik in Bad Klosterlausnitz, einer Rehabilitations-Fachklinik für Neurologie und Orthopädie/Traumatologie, nicht möglich gewesen. Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Hamzei, Chefarzt für Neurologie der Moritz Klinik Bad Klosterlausnitz und dem gesamten Team für die erfolgreiche Kooperation. Mein großer Dank gilt insbesondere Frau Annegret Lorenz, Logopädin der Moritz Klinik, welche als direkte Ansprechperson für die Rekrutierung der Patienten verantwortlich war und mir darüber hinaus alle erforderlichen Informationen bezüglich des Patientenkollektivs zur Verfügung stellte.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Dr. M. Sauer, ehemaligem Doktorand der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena, für die anfänglichen Hilfestellungen beim Erlernen der Sonografie und der Segmentierung der Ultraschallaufnahmen.

Unendlich dankbar bin ich für die bedingungslose Unterstützung, sowohl in technischer, wissenschaftlicher als auch emotionaler Hinsicht durch Dr. Matthias Meißner. Seine Geduld und Erfahrung waren mir eine außerordentliche Hilfe beim Erstellen dieser Arbeit. Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie für ihr uneingeschränktes Vertrauen und ihren aufopferungsvollen Rückhalt bedanken. Vielen Dank, dass ihr mir all dies ermöglicht habt und immer für mich da seid.



## **8.2 Ehrenwörtliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Herr Univ.-Prof. Dr. O. Guntinas-Lichius, Herr Priv.-Doz. Dr. G.F. Volk,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

---

Ort, Datum

---

Vera Spoddeck